

**Aplicação da metodologia Monte Carlo na determinação de rotação
florestal sob condições de risco**

MAIARA NERI JOSINO

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL**

FACULDADE DE TECNOLOGIA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA-UnB

MAIARA NERI JOSINO

Aplicação da metodologia Monte Carlo na determinação de rotação florestal sob condições de risco

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

ORIENTADOR: Dr. ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA

CO-ORIENTADOR: Dr. JOSÉ MAURO MAGALHÃES ÁVILA PAZ MOREIRA

BRASÍLIA – DF

FEVEREIRO DE 2018

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS**

**“APLICAÇÃO DA METODOLOGIA MONTE CARLO NA
DETERMINAÇÃO DA ROTAÇÃO FLORESTAL SOB CONDIÇÕES DE
RISCO”**

MAIARA NERI JOSINO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL, DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

**Prof. Dr. ÁLVARO NOGUEIRA DE SOUZA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Orientador)**

**Prof. Dr. RICARDO DE OLIVEIRA GASPAR (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB);
(Examinador Interno)**

**Prof. Dr. MAÍSA SANTOS JOAQUIM (Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV/GAN);
(Examinador Externo)**

**Prof. Dr. REGINALDO SÉRGIO PEREIRA (Departamento de Engenharia Florestal – EFL/UnB).
(Examinador Suplente)**

Brasília-DF, 21 de fevereiro de 2018.

RESUMO

O mercado de base florestal tem se apoiado cada vez mais em florestas plantadas, sendo necessários progressos quanto aos projetos florestais. A determinação da idade de corte de uma floresta é uma das decisões mais importantes no conjunto de técnicas de manejo, tanto devido aos altos custos associados a esse tipo de projeto, como à maximização do lucro. A metodologia tradicional amplamente aplicada na determinação da rotação florestal não tem sido capaz de captar as incertezas, quanto à mercado e produtividade, dos investimentos florestais. O presente estudo tem como objetivo incorporar a metodologia Monte Carlo às tradicionais, de forma a realizar análises que permitam que o produtor permaneça flexível quanto às decisões em relação à determinação da rotação de sua floresta. A análise da produção de Eucalipto foi feita a partir dos indicadores de viabilidade valor anual equivalente (VAE), taxa interna de retorno (TIR), relação benefício/custo (RBC) e custo médio de produção (CMP). Foram analisados 20 regimes de manejo, sendo quatro de alto fuste com idades de corte variando entre 6 a 9 anos, e 16 de talhadia com a mesma variação de idade de corte, para a primeira e segunda rotação. As variáveis de risco utilizadas foram preço da madeira, produtividade e perda de produtividade na segunda rotação. Foram realizadas 100.000 simulações com a ajuda do software @Risk. A partir da análise determinística o projeto modal apresentou retorno de R\$589,00 por hectare, sendo considerado viável em todos os cenários estudados. A escolha do melhor regime de manejo teve alterações com as variações dos fatores preço, produtividade e perda de produtividade na segunda rotação. E o ganho do produtor por escolher o melhor regime no lugar do regime modal foi tanto melhor quanto maior o nível de perda de produtividade na segunda rotação.

Palavras-chave: eucalipto, viabilidade financeira, regime de manejo.

ABSTRACT

The forest based market has increasingly relied on planted forests, therefore progress on forestry projects is needed. The determination of the harvest age of a forest is one of the most important decisions in the set of management techniques, due to the high costs associated with this type of project and to the maximization of profit. The traditional methodology widely applied in the determination of forest rotation has not been able to capture the uncertainties of forest investments. The present study aims to incorporate the Monte Carlo methodology into the traditional ones, in such manner to perform analyzes that allow the producer to remain flexible regarding the decisions about the rotation of the forest. The traditional methodology analysis of the production of Eucalyptus was made from viability indicators: expected annual annuity (EAA), internal rate of return (IRR), benefit/cost ratio (B/C) and average production cost (APC). Twenty management regimes were analyzed, four of which were regime of high forest, with harvest ages ranging from 6 to 9 years, and 16 of regime of coppice, with the same variation of harvest age, for the first and second rotation. The risk variables used were wood prices, productivity and loss of productivity in the second rotation. 100,000 simulations were performed with the @Risk software. From the deterministic analysis, the project presented a return of more than R\$ 589 per hectare, being considered feasible in all studied scenarios. The choice of the best management regime fluctuate with the change of the levels of loss of productivity in the second rotation. And the gain of the producer by choosing the best regime instead of the modal regime was better with higher levels of loss of productivity in the second rotation.

Key words: eucalipto, financial feasibility, management regime.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelos determinístico e estocástico. Fonte: Planton e Constantinescu (2014).....	24
Figura 2. Distribuição de probabilidade do Incremento Médio Anual (IMA) aos 7 anos de idade.....	34
Figura 3. Probabilidade de ocorrência do Valor Anual Equivalente (VAE) no regime de manejo modal. Fonte: Autor	37
Figura 4: Valor anual equivalente, taxa interna de retorno, relação benefício/custo e custo médio de produção em diferentes regimes de manejo. Fonte: Autor.	38
Figura 5: Frequência dos regimes ótimos para os indicadores de viabilidade financeira. Fonte: Autor.	39
Figura 6: Frequência dos regimes ótimos para os indicadores de viabilidade financeira Taxa Interna de Retorno e Relação Benefício Custo, nos três cenários de perda de produtividade. Fonte: Autor.....	40
Figura 7. Frequência dos regimes ótimos para os indicadores de viabilidade financeira Custo Médio de Produção, nos três cenários de perda de produtividade.....	41
Figura 8: Relação entre os regimes de manejo ótimos com preço (R\$/mst) e produtividade (mst/ha), para cada indicador de viabilidade (VAE). Fonte: Autor.....	43
Figura 9:Relação entre os regimes de manejo ótimos com preço (R\$/mst) e produtividade (mst/ha), para cada indicador de viabilidade (TIR e EBC). Fonte: Autor.....	44
Figura 10. Relação entre os regimes de manejo ótimos com preço (R\$/mst) e produtividade (mst/ha), para cada indicador de viabilidade (CMP).	45
Figura 11. Diferença de retorno gerado pela escolha do regime ótimo em preferência ao regime modal. Fonte: Autor.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Idades de primeiro e segundo cortes e códigos dos regimes de manejo.	Erro!
Indicador não definido.	
Tabela 2. Valores de entrada de preço utilizados para a determinação da distribuição triangular na simulação de Monte Carlo.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 3. Valores de perda de produtividade utilizados na função Risksimtable() na simulação de Monte Carlo.	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4. Valores de perda de produtividade utilizados na função Risksimtable() na simulação de Monte Carlo.	32
Tabela 5. Regimes ótimos de acordo com o nível de perda de produtividade na segunda rotação, para o indicador VAE.	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	OBJETIVOS	10
2.1	Objetivo geral.....	10
2.2	Objetivos específicos	10
3	REFERENCIAL TEÓRICO	11
3.1	Florestas Plantadas de Eucalipto.....	11
3.2	Rotação Florestal	12
3.3	Regimes de manejo	16
3.4	Indicadores de viabilidade financeira	17
3.5	Análise de Risco	21
3.6	Método Monte Carlo.....	22
3.6.1	Histórico.....	23
3.6.2	O método.....	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1	Caracterização e localização da área de estudo	28
4.2	Material e Métodos	28
4.2.1	Coleta de dados.....	28
4.2.2	Modal de produção	28
4.2.3	Definição dos regimes de manejo	30
4.2.4	Monte Carlo	32
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Análise de Viabilidade.....	37
5.2	Frequência dos Regimes Ótimos	38
6	CONCLUSÕES	49
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
8	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	51

1 INTRODUÇÃO

As florestas plantadas no Brasil vêm apresentando crescente aumento de produtividade, tanto devido a fatores ambientais favoráveis como a criação de novas tecnologias. Tal refinamento leva o país a se destacar no meio florestal. O número de hectares de florestas plantadas passa de 10 milhões, sendo 75% desse valor representados por plantações de Eucalipto (IBGE, 2017). A indústria de base florestal no Brasil tem se tornado cada vez mais dependente da silvicultura para a produção de material lenhoso, que substitui a madeira oriunda de florestas nativas (FISCHER; ZYLBERSZTAJN, 2012).

Fatores biológicos, não biológicos e econômicos interferem na realização de projetos florestais. Muitos desses fatores podem ser definidos pelo gestor do investimento, correspondendo à flexibilidades gerenciais (GASTALDI; MINARDI, 2012). Dessa forma, a análise desses fatores pode levar a alterações nas tomadas de decisão de um investimento florestal.

A determinação do regime de manejo e da rotação de um povoamento é uma das etapas mais importantes no conjunto de técnicas de manejo e planejamento florestal. Isso se deve ao seu objetivo principal, a maximização dos lucros, como também aos altos valores de investimento relacionados a esse tipo de projeto (RESENDE et al., 2004). Ao ser realizado o corte da floresta fora de sua idade economicamente ótima, o investidor contribuirá para a elevação dos custos de produção e/ou perda de receitas, deixando de obter o máximo retorno sobre o investimento.

Dentre as técnicas financeiras comumente utilizadas para a determinação da rotação está a análise do Fluxo de Caixa Descontado (FCD), que é representada por métodos que consideram a variação do capital ao longo do tempo. As ferramentas utilizadas nesse tipo de análise podem ser: o Valor Presente Líquido (VPL) Valor Anual Equivalente (VAE), uma derivação do VPL; Valor Esperado da Terra (VET); Taxa Interna de Retorno (TIR); relação benefício custo (B/C) e Custo Médio de Produção (CMP).

O uso estático dessas técnicas tradicionais de avaliação de investimentos, como o FDC, tem sofrido duras críticas, uma vez que elas não têm sido capazes de captar o valor da flexibilidade administrativa presente em muitos projetos (SANTOS; PAMPLONA, 2005). O

uso do FCD parte de premissas implícitas quanto a um “cenário esperado” de fluxos de caixa e presume um comportamento passivo da administração, por exemplo: iniciar imediatamente o projeto e tocá-lo continuamente até o fim de sua vida útil, previamente especificada (TRIGEORGIS, 2007).

Problemas associados ao planejamento da rotação florestal podem acarretar em grande prejuízo para o investidor. Tal fato tem levado administradores à busca de métodos e técnicas sofisticadas para a análise de incerteza quanto à projetos (SANTOS; PAMPLONA, 2005). Uma forma de amenizar o dilema das metodologias tradicionais é a adição de métodos alternativos que permitam a mensuração de incertezas em relação à análise. O método de Monte Carlo (METROPOLIS, 1987) aparece como uma opção para esse tipo de problema, uma vez que, associado aos métodos tradicionais, gera conjuntos de resultados e suas respectivas probabilidades de ocorrência, enquanto tais métodos tradicionais geram resultados determinísticos.

O método Monte Carlo é uma ferramenta matemática comumente utilizada, em diversos segmentos da ciência e da engenharia, para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos. O método utiliza a geração de números aleatórios, a partir de variáveis de entrada, para obter resultados de distribuição das variáveis do sistema que se deseja investigar (AGARWAL; VIRINE, 2017).

No setor florestal a metodologia de Monte Carlo vem ganhando espaço, sendo utilizada por autores em análises financeiras e de riscos (COELHO JUNIOR et al., 2008; JOAQUIM et al., 2015; SILVA et al., 2012; SIMIONI; HOEFLICH, 2006).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este trabalho trata do uso da Metodologia Monte Carlo no estudo da rotação florestal, de forma a incorporar os riscos sobre mercado e produção nesta análise, otimizando a escolha sobre a rotação em projeto de pequenos produtores florestais.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar como a flexibilização do regime de manejo frente às variáveis de incerteza impacta no retorno financeiro esperado da floresta;
- Calcular o ganho financeiro auferido pelo produtor ao escolher o melhor regime de manejo para cada cenário;
- Identificar estratégias de comportamento que o produtor florestal pode utilizar para buscar obter máximos retornos econômicos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Florestas Plantadas de Eucalipto

As florestas de vegetação nativa guardam o maior bem natural para a população, sua importância encontra-se em seus serviços ambientais, na rica biodiversidade e na manutenção da vida. Por muitos anos, a necessidade de madeira era suprida por essas florestas, cuja retirada da forma comumente realizada, sem uma orientação científica e não respeitando os limites sustentáveis de produção, possuem consequências devastadoras para o ecossistema. É nesse contexto de preservação das florestas nativas que entra o eucalipto, uma espécie de rápido crescimento e produtividade e com inúmeras aplicações em diferentes setores (SBS, 2008).

Em 2004 marcou-se o centenário da introdução do eucalipto para fins produtivos no Brasil, pois foi em 1904 que Edmundo Navarro de Andrade iniciou as atividades de reflorestamento experimentais para obter a produção da matéria prima que se destinaria à produção de lenha e dormentes para a Companhia Paulista de Estradas de Ferro (MARTINI, 2004). Hoje em dia o eucalipto pode ser plantado em abundância em todos os cantos do país, tendo como força de impulso a evolução tecnológica.

O Brasil, por ser um país de grande dimensão territorial, com condições de clima e solo altamente favoráveis para a implantação de florestas, faz com que o desenvolvimento de espécies exóticas, principalmente Pinus e Eucalipto, demonstre resultados surpreendentes, com ciclos silviculturais entre 6 e 7 anos (Eucalipto), bem diferentes dos países de grande tradição florestal como Suécia, Canadá e Austrália, cujos ciclos não são inferiores à 60 anos (SILVA, 2009).

O eucalipto foi o gênero escolhido para assumir sua atual posição por suas vantagens, destacando-se algumas como: rápido crescimento volumétrico; curta rotação; tolerância à seca; ampla adaptação de uso e benefícios econômicos elevados. O eucalipto é também conhecido como uma das três principais espécies arbóreas de crescimento rápido do mundo, difundidas em regiões tropicais e subtropicais (LIU; LI, 2010).

Algumas das importantes funções que os plantios de eucalipto exercem são:

- Diminuição da pressão sobre florestas nativas;
- Reaproveitamento de terras degradadas pela agricultura;

- Sequestro de carbono;
- Proteção do solo e da água;
- Ciclos de rotação mais curtos em relação aos países com clima temperado;
- Maior homogeneidade dos produtos, facilitando a adequação das máquinas na indústria (SFB, 2011).

Há especulações sobre possíveis danos que a produção de eucalipto pode provocar ao meio ambiente. As polêmicas sobre a cultura sempre existiram e há os que a culpam pela destruição das matas nativas, o empobrecimento do solo, esgotamento da água e redução da biodiversidade animal e vegetal. Há também preocupações com o consumo de água da espécie. Alega-se que ela é considerada “ressecadora do solo e precursora de desertos”, além de a questionarem com base em sua característica de monocultura, que no geral são caracterizadas por apresentar baixa diversidade ecológica, podendo resultar em instabilidade ou vulnerabilidade a mudanças climáticas ou ataque de doenças e pragas (SILVA, 2009). Entretanto, Silva et al. (2004), em seus estudos com *E. citriodora* e *E. Grandis*, avaliou que as espécies têm mecanismos biológicos que economizam água, tais como a presença de tecido foliar coriáceo, alinhamento vertical das folhas, fechamento rápido dos estômatos, baixas taxas de transpiração e elevada razão raiz/parte aérea.

De acordo com a Sociedade Brasileira de Silvicultura (SBS, 2006) o Brasil possuía, em 2005, 5,6 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais 60% eram de florestas de eucaliptos. Em 2007, haviam 6 milhões, sendo 66% do total de eucalipto (SBS, 2008), e em 2016, mais de 10 milhões de hectares, sendo 75% de eucalipto (IBGE, 2017). Os dados apresentados mostram a evolução da representatividade do eucalipto nas florestas brasileiras, e sua crescente importância para o setor florestal.

Dentre os destinos dados à madeira de eucalipto, um especial e amplamente utilizado é a produção de biomassa. Por possuir qualidades desejáveis como madeira de alta densidade, características químicas adequadas e madeira facilmente desidratada, o eucalipto é espécie chave para esse fim (LESLIE; MENCUCINI; PERKS, 2012).

3.2 Rotação Florestal

Qual o melhor manejo para definir a rotação para uma floresta? Essa questão tem permanecido em debate há um longo período de tempo, em que muitas teorias e práticas têm sido desenvolvidas de forma a tentar responder à questão.

A modelagem do melhor período para a colheita de árvores e a valorização da terra dedicada à colheita comercial de madeira é uma área de pesquisa ativa na literatura acadêmica. Um desafio contínuo é como melhor modelar a dinâmica dos preços da madeira na determinação de estratégias de colheita ótimas e na estimativa do valor das terras florestadas (CHEN; INSLEY, 2012).

Quando a finalidade é produção de madeira, muitos gerentes florestais tradicionalmente têm defendido que o objetivo de uma boa política é obter o máximo de produção. Isto corresponde ao ponto mais elevado da curva de volume/idade de crescimento florestal. Se todas as árvores forem cortadas neste momento em suas vidas o proprietário florestal atingirá a meta de máxima produção de madeira de qualidade (KULA; GUNALAY, 2012).

Conhecida também como determinação da idade de corte de um povoamento, a rotação florestal é uma das etapas mais importantes no conjunto de técnicas de manejo e planejamento florestal. A idade de corte é o tempo passado entre o estabelecimento e o crescimento de uma floresta até o momento de ser explorada. No caso do produtor e empresário florestal, essa etapa de análise mostra-se como de umas das mais cruciais, devido ao objetivo principal do plantio florestal, que seria a maximização dos lucros, como também devido aos altos valores de investimentos associados à esse tipo de empreendimento (RESENDE et al., 2004).

Rezende et al. (2005) afirmam que a idade ótima de corte é afetada diretamente por fatores técnicos como espaçamento, produtividade, produto final desejado e por fatores econômicos como horizonte de planejamento, custos de produção, preço da madeira e taxa de desconto.

Os tipos de rotação são variados, eles podem ocorrer com base na fisiologia da planta, até o rendimento financeiro da produção. Rezende et al. (2005) afirmam que os tipos de rotação mais conhecidos são: rotação ecológica, técnica, de máxima produtividade volumétrica e econômica.

- Rotação Ecológica - é o tipo de rotação que coincide com o ciclo de vida de uma espécie num dado sítio, podendo ser interpretada como a idade que as árvores permanecem sadias ou que ainda possuem sementes de qualidade. Tem especial importância em estudos em parques, florestas de proteção e para fins paisagísticos;

- Rotação Técnica – é a rotação em que as espécies atingem as dimensões e características desejadas para determinado uso, como por exemplo: diâmetro, densidade, propriedades físico-mecânicas, etc (FERREIRA, 2001).
- Rotação de Máxima Produtividade Volumétrica - do ponto de vista da rotação de máxima produtividade, a idade de corte ótima é atingida quando se produz um maior volume de madeira por unidade de tempo, sendo determinada quando o Incremento Corrente Anual (ICA) se iguala ao Incremento Médio Anual (IMA). A decisão de cortar a floresta quando o IMA é máximo se baseia no fato do volume anual médio produzido ser maior que o volume anual que seria obtido se a floresta fosse cortada em qualquer outra idade (RODRIGUEZ; BUENO; RODRIGUES, 1997). De acordo com Resende et al. (2004) a determinação da idade de corte é feita por meio da utilização do índice de local, em que quando a razão entre incremento corrente anual ($m^3/ha/ano$) e incremento médio anual ($m^3/ha/ano$) for igual a uma unidade, tais valores serão considerados como a idade de corte da floresta.
- Rotação Econômica – é a que proporciona o máximo de retorno dos investimentos na atividade florestal. Atualmente, esse tipo de manejo tem sido utilizado por conta da facilidade de serem incluídas fórmulas financeiras aos programas de manejo florestal (SILVA; RIBEIRO, 2006).

Florestas que utilizam o método de rotação de máxima produtividade, ou seja, que possui máximo incremento médio anual, tem como resultado a ocupação da menor área possível (RODRIGUEZ; BUENO; RODRIGUES, 1997). Além disso, Resende et al. (2004), em estudo na produção de *Eucalyptus grandis* em Minas Gerais, concluiu que a rotação técnica apresentou menor produção de madeira quando comparada com a rotação econômica.

Cada método de análise de rotação florestal possui vantagens e desvantagens. A rotação técnica não se baseia em aspectos importantes como custos, taxa de juros e dimensões das plantas, portanto, de acordo com Scolforo e Hosokawa (1992), esse pode não ser o método mais adequado de avaliação do manejo do plantio. Os autores acreditam que o manejo mais realístico deva conter uma agregação de elementos de forma que sejam mais eficientes do ponto de vista econômico. Dessa forma, para eles, a definição de rotação segundo o ponto de vista econômico é o método mais conveniente.

As técnicas de análise da rotação florestal, por talhão, têm adquirido certos vícios não desejáveis. Dentre eles está a definição da idade de corte de espécies como o eucalipto,

comumente determinada como 7 anos. Essa recomendação desconsidera informações essenciais como característica da rotação, taxa de crescimento da espécie, acréscimo no valor de acordo com a melhora da qualidade da madeira e sob o ponto de vista econômico, o uso de diferentes taxas de juros.

Portanto, de acordo com a literatura, para empreendimentos florestais, cujo objetivo se encontra no lucro, rotações com base em técnicas financeiras, além de mais adequadas, podem ser as que apresentam menores riscos (RODRIGUEZ; BUENO; RODRIGUES, 1997).

O valor presente líquido (VPL), é o método tradicional, e amplamente utilizado, de análise da rotação de um povoamento florestal. Utilizado extensivamente na literatura (KULA; GUNALAY, 2012; NGHIEM, 2014; SOUZA; REZENDE; OLIVEIRA, 2001), ele calcula o valor presente de um projeto com base em um fluxo de caixa em que são utilizados dados como as receitas, custos e taxas de juros de um projeto florestal.

Rodriguez et al. (1997), entretanto, criticam o uso do VPL para a determinação da rotação da produção, eles afirmam que o uso do VPL não deve ser aplicado, pois apresenta a comparação de rotações que possuem diferentes períodos de maturação e por consequência, diferentes escalas temporais. Rodrigues e Moreira (1989) afirmam que, por beneficiar somente a eficiência econômico-financeira, a escolha do método VPL pode não levar em consideração outros objetivos e necessidades do produtor. Tee et al. (2010) também vão contra o uso do VPL na determinação da rotação florestal. Eles criticam a inflexibilidade na decisão sobre a idade de corte tomada ao início de um projeto, que se estende até o corte final, sem alterações. Outros autores censuram o uso da metodologia tradicional na análise de projetos florestais por ela não ser capaz de captar corretamente a flexibilidade da administração para adaptar e rever decisões posteriores em resposta a desdobramentos inesperados no mercado (CHAUDHARI; KANE; WETZSTEIN, 2016; SANTOS; PAMPLONA, 2005; TRIGEORGIS, 2007).

Na avaliação de rotação florestal alguns autores utilizam metodologias flexíveis, que analisam dados de forma estocástica, dessa forma, possibilitando respostas mais dinâmicas da gerência. Tee et al. (2010), na determinação de rotação de uma floresta na Nova Zelândia, utilizaram a metodologia de Opções Reais, no qual o investidor tem o direito, mas não a obrigação de tomar certas ações no futuro. Há também outras abordagens tomadas no cenário florestal, que também são capazes de fazer com que a administração de um investimento se adapte a situações futuras de mercado. São elas: equações diferenciais parciais, árvores de

decisão, processo de reversão à médias, simulações, como a Monte Carlo, entre outras (DUKU-KAAKYIRE; NANANG, 2004; GASTALDI; MINARDI, 2012; JOAQUIM et al., 2015). Todas abordam problemas de forma mais maleável que o método tradicional, em que decisões podem ser adiadas ou alteradas de acordo com informações que surgem no decorrer do tempo.

3.3 Regimes de manejo

Desde a introdução do Eucalipto no comércio de madeira brasileira a condução da rebrota (talhadia), foi o regime de manejo predominante para os produtores da época. Entretanto, devido às diferentes condições edafoclimáticas, níveis tecnológicos e diferenças entre espécies, a produtividade obtida na segunda rotação era muito variável, fazendo com que as empresas, produtoras desse material, parassem de utilizar a condução das cepas para iniciar o processo de corte e reforma do plantio (GONÇALVES et al., 2014). O alto fuste ou corte e reforma é o sistema de manejo em que a propagação é feita naturalmente, por sementes, ou artificialmente com o plantio de mudas obtidas por sementes ou clones.

A partir da década de 1990, a introdução e utilização em grande escala de materiais genéticos de melhor qualidade e mais produtivos também ajudou a impulsionar a adoção da reforma como técnica de manejo, apesar dos maiores custos e dificuldades inerentes a esse tipo de manejo. Com o advento da silvicultura clonal, os estudos e informações sobre o regime de talhadia foram diminuídos.

Com a crise econômica internacional em 2008, a opção por condução do povoamento voltou a estar presente nas discussões. Empresas começaram a reavaliar a opção de utilizar a talhadia com base na contenção de despesas, uma vez que essa prática dispensa o preparo do solo e aquisição de mudas (GOMES, 2015).

A capacidade de rebrota varia de acordo com a espécie de Eucalipto. Algumas espécies apresentam uma estrutura de reserva de nutrientes, que favorece a emissão de brotações, chamada de lignotuber. Quando a parte aérea é destruída, as reservas do lignotuber permitem o desenvolvimento das novas brotações, que são, geralmente, mais fortes que as iniciais (FERRARI; FERREIRA; SILVA, 2004). Independente da capacidade de rebrota de uma espécie, fatores ambientais como solo, clima e pluviosidade, interferem no processo, sendo importante que seja feita essa análise antes da tomada de decisão quando à escolha por talhadia.

A grande maioria das plantações conduzidas por talhadia é manejada em ciclos curtos de produção (6-8 anos) (GONÇALVES et al., 2014). Normalmente, a produtividade do povoamento tende a cair com o aumento do número de rotações, tendo como um dos fatores responsáveis por essa queda, a própria exaustão da planta (FERRARI; FERREIRA; SILVA, 2004).

Os custos de produção da talhadia ficam em torno de 75% a 80% dos custos da reforma, devido à dispensa do preparo de solo, aquisição de mudas, irrigação, replantio e controle de brotação em áreas de reforma. Além de reduzir os problemas com tocos, melhorar a conservação do solo e diminuir a pressão ambiental (CHAVES; MARRICHI, 2015).

Estudos conduzidos na empresa Gerdal mostram que é possível obter produtividades semelhantes nos manejos por talhadia e por reforma, desde que sejam adotados procedimentos adequados. Tais procedimentos são: altura de corte entre 10 e 15 cm, evitar danos às cepas planejando a colheita adequadamente, reduzir ao máximo o tráfego dentro dos talhões, manutenção das cepas e controle de formigas (GOMES, 2015). Azevedo et al. (2011), em experimento com *eucalyptus urophylla*, também verificou que os volumes médios, obtidos por cubagem rigorosa e estimados, apresentaram-se semelhantes sob os regimes de alto fuste e talhadia.

Alguns critérios que visam aumentar o Incremento Médio Anual (IMA) das florestas são, de acordo com Gomes (2015), a opção pela reforma do talhão cujo IMA seja inferior à média do projeto, e a reforma de todos os talhões cuja sobrevivência seja inferior a 70%.

3.4 Indicadores de viabilidade financeira

Para a escolha de modelos florestais financeiramente viáveis é necessário conhecer antecipadamente os custos de cada fase do projeto, desde a implantação, a demanda por mão de obra e a rentabilidade, permitindo que seja feita uma comparação entre diferentes sistemas de produção. Após realizada uma análise financeira, o investidor terá conhecimento do quanto deve investir ou receber de um projeto, podendo mensurar quais serão as atividades realizadas e o fluxo real de receitas e custos durante o período de implementação do investimento (ARCO-VERDE; AMARO, 2014).

Uma das maneiras utilizadas para calcular a viabilidade financeira de projetos florestais é o uso de indicadores de viabilidade financeira como o Valor Presente Líquido (VPL), Valor

Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício-Custo (B/C) e Custo Médio de Produção (CMP), dentre outros.

3.4.1. Valor Presente Líquido

A análise do VPL consiste na diferença entre o valor das receitas e os custos, descontados para o ano zero, de acordo com determinada taxa de desconto, conhecida como Taxa Mínima de Atratividade. O VPL positivo indicará viabilidade ao projeto, sendo mais atrativo quanto maior for. Valores negativos indicarão um projeto inviável (VIRGENS; FREITAS; LEITE, 2016), uma vez que não gera, a valores no presente, receita suficiente para remunerar todos os fatores de produção e ainda gerar um excedente econômico (lucro). A característica principal do VPL é o desconto para o presente, de todos os fluxos de caixa esperados como resultado de uma decisão de investimento, ou seja, as opções devem ser analisadas e comparadas somente se os resultados de retorno forem medidos em um ponto comum no tempo (REZENDE; OLIVEIRA, 2013).

O princípio da abordagem do VPL é que um valor arriscado no futuro é menos valioso que um valor certo hoje. Assim, os fluxos de caixa futuros são descontados a cada ano. A taxa de desconto reflete o custo de oportunidade do capital mobilizado, que aumenta com o risco estimado da oportunidade de inovação. De fato, espera-se que projetos mais arriscados proporcionem maiores retornos (ŽIŽLAVSKÝ, 2014).

Um dos problemas mais difíceis ligados à utilização do valor presente líquido é um a escolha de um valor adequado para a taxa de desconto, pois o VPL é muito sensível a mudanças nesse valor, especialmente em projetos de longo prazo. Esta taxa deve representar, pelo menos, o que se deixa de ganhar pela não aplicação do capital em outra oportunidade de investimento (REZENDE; OLIVEIRA, 2013).

O VPL de um projeto pode ser calculado a partir da soma algébrica dos valores descontados do fluxo de caixa a ele associado, assim:

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}$$

em que

R_j = receita ao final do ano j ou do período de tempo considerado; C_j = custo ao final do ano j ou do período de tempo considerado; i = taxa de desconto; e n = duração do projeto

3.4.2. Valor Anual Equivalente (VAE)

O VAE, de acordo com Rezende e Oliveira (2013), é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL (Valor Presente Líquido) da opção de investimento, ou seja, ela permite a conversão do resultado do retorno total do projeto em parcelas anuais. Em outras palavras, o VAE transforma o valor atual do projeto em fluxo de receitas ou custos periódicos e contínuos, equivalentes ao valor atual, durante a vida útil do projeto (SILVA; FONTES, 2005). Em se tratando de viabilidade, o projeto será viável quando o VAE for maior que zero.

Este indicador, por trazer os custos e, ou, benefícios por unidade de tempo, elimina a necessidade de equiparação dos horizontes de tempo, pois já estão implícitas as diferenças de horizontes (NISHI et al., 2005). De acordo com Rezende e Oliveira (2013), o cálculo do VAE é obtido por meio da seguinte equação:

$$VAE = \frac{VPL \cdot i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

em que:

VPL = valor presente líquido, i = taxa de desconto; e n = duração do projeto.

3.4.3. Taxa Interna de Retorno (TIR)

A TIR representa a taxa média anual de retorno do capital aplicado ao investimento, sendo também a taxa que iguala o valor atual das receitas (futuras) com o valor atual dos custos (futuros) e pode ser caracterizada também como a taxa média de crescimento do investimento. A TIR é uma taxa intrínseca ao projeto e independe da taxa de desconto corrente, e em um processo de escolha a decisão recai sobre a alternativa de maior valor (REZENDE; OLIVEIRA, 2013). Uma alternativa de investimento é dita como vantajosa quando a taxa de retorno é maior que a taxa mínima de atratividade (PINTO et al., 2006).

De acordo com Rezende e Oliveira (2013), existem quatro formas de calcular a TIR. A primeira é pelo método gráfico, que é usado quando não se dispõem de computação e quando

a equação para sua determinação resulta em um polinômio complexo. O método baseia-se na escolha de duas ou mais taxas ao acaso e na determinação do VPL resultante. Em seguida, em um gráfico, plota-se o VPL em um eixo e a taxa de desconto em outro e conecta-se os dois com uma reta. O ponto que a reta tocar o eixo da taxa de desconto será o valor aproximado da TIR.

O segundo método é o matemático, em que a primeira parte da equação de cálculo do VPL (receitas) é igualada à segunda parte (custos), sendo a taxa mantida como incógnita. A taxa resultante dessa igualdade será a TIR. O terceiro método é o de tentativas, que se baseia em ir colocando valores para a taxa i na equação de cálculo do VPL até encontrar um valor igual a zero. E o último método é o computacional, que é o mesmo que o de tentativas, porém com a ajuda de softwares apropriados.

3.4.4. Relação Benefício/Custo (RBC)

A RBC consiste em determinar a relação entre o valor presente dos benefícios com o valor presente dos custos, sendo o método muito utilizado pelo governo na avaliação de projetos públicos. Um projeto é considerado economicamente viável se a relação apresentar valor maior que 1, sendo tanto mais viável quanto maior for esse valor.

$$RBC = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}}$$

em que:

R é o valor das receitas, C é o valor dos custos, i é a taxa de desconto e n é o período de tempo do projeto.

3.4.5. Custo Médio de Produção (CMP)

O CMP representa o valor mínimo que se pode determinar para o preço do produto para que todos os fatores de produção sejam remunerados, sem geração de excedente econômico (VPL=0). Esse indicador é utilizado quando se deseja operar com custos mínimos, independente da quantidade produzida e do tempo de duração do investimento. Será considerado viável o projeto que apresentar o menor custo médio, sendo este comparado a uma unidade de valor de mercado do produto.

$$CMP = \frac{\sum_{j=0}^n C_j (1+i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n Q_j (1+i)^{-j}}$$

em que:

C_j é o custo total, Q_j é a produção total, i é a taxa de desconto e n é o período de tempo do projeto.

O custo médio de produção é calculado considerando apenas um único produto com preço real constante ao longo do tempo. Caso haja mais de um produto deve-se escolher para qual produto deseja-se calcular o CMP, sendo a receita dos demais produtos

3.5 Análise de Risco

A melhor pergunta na avaliação de oportunidades de investimentos não é “Qual a taxa de retorno?” mas “O retorno é suficiente para justificar o risco?” (HIGGINS, 2001).

A habilidade de definir o que pode acontecer no futuro, avaliar riscos e incertezas associados e escolher entre as alternativas disponíveis está no coração do sistema de análise de riscos, que nos guia na tomada de decisões (AVEN, 2012). O conhecimento do retorno de um investimento não é suficiente para determinar o seu valor. A valoração de investimentos é uma tarefa bidimensional que envolve um ponderamento entre risco e retorno (HIGGINS, 2001).

A partir da compreensão das incertezas, sua medição e a análise de suas consequências, a análise de risco tem sido convertida em um dos principais catalizadores que guiam a sociedade moderna. As atitudes direcionadas à análise de risco encaminhou a paixão humana por jogos e apostas que propiciaram o crescimento econômico, melhoramento da qualidade de vida e do progresso tecnológico (AVEN, 2012).

De acordo com Bruni (2008), situações sob incerteza e risco são caracterizadas pela presença de múltiplos resultados possíveis, porém, para a primeira, a determinação das probabilidades associadas a cada resultado não pode ser calculada, já na segunda as probabilidades são associadas aos diferentes resultados. Caso um indivíduo deseje retirar uma moeda de um cofre que contém moedas de valores variados, ele enfrentará uma situação de incerteza, caso não saiba quantas moedas de cada tipo estão no cofre. Já se ele souber a

quantidade de moedas de cada tipo que estão presentes, pode calcular as probabilidades relativas aos diferentes resultados, nesse caso enfrentará uma situação de risco.

Os gestores, que em sua maioria têm aversão ao risco, demandam que haja um aumento de retorno proporcional ao aumento de risco. Ou seja, para assumir maiores riscos os gestores exigem um retorno maior. As origens dos riscos são variadas, seus efeitos e a instabilidade de um investimento podem ser originados, por exemplo, de fatores políticos, econômicos, naturais ou conjunturais (ANTONIK, 2004).

Três técnicas: análise de sensibilidade; análise de cenários e simulações são úteis no cálculo de estimativas subjetivas de riscos em investimentos. Mesmo que essas técnicas não produzam uma medida objetiva desses riscos, elas ajudam o administrador a pensar sistematicamente sobre suas origens e o seu efeito no retorno do projeto (HIGGINS, 2001).

3.6 Método Monte Carlo

Os métodos de simulação são ferramentas utilizadas para as tomadas de decisões. São especialmente úteis em situações em que as análises de riscos estão incluídas, de forma a prever o resultado de uma decisão face à incerteza. A simulação em problemas gerenciais necessita, primeiramente, da modelagem em termos matemáticos do sistema que se pretende investigar. Como resultado tornam-se conhecidas as variáveis e os relacionamentos relevantes do problema, permitindo simular as respostas do sistema a diferentes escolhas da tomada de decisão (AGUIAR, ALVES e HENNING, 2010).

O método Monte Carlo é uma ferramenta matemática comumente utilizada em diversos segmentos da ciência e da engenharia para simular problemas que podem ser representados por processos estocásticos. A simulação consiste de um experimento cujo objetivo é estimar a distribuição de resultados, baseando-se em uma ou mais variáveis de entrada que se comportam de maneira probabilística, de acordo com alguma distribuição estipulada (KALLIO, 2010). O método utiliza a geração de números aleatórios, a partir de variáveis de entrada, para obter resultados, aproximados, de distribuição das variáveis do sistema que se deseja investigar (AGARWAL; VIRINE, 2017). A simulação, então, é repetida várias vezes, até que haja segurança sobre o comportamento característico da variável sobre a qual recairá a decisão.

A avaliação de projetos utilizando simulações de Monte Carlo se tornou a fundação para a análise quantitativa de risco de projetos (WANNER, 2013). Ao final de cada interação os dados são armazenados e, ao final de todas as repetições, a sequência de resultados é

transformada em uma distribuição de frequência, que possibilita calcular estatísticas descritivas (SARAIVA JÚNIOR; TABOSA; COSTA, 2011).

Um dos principais conceitos usados em Monte Carlo é a distribuição estatística. Distribuição estatística ou probabilística é a relação entre amostra de dados ou o resultado de um experimento estatístico e sua probabilidade de ocorrência (AGARWAL; VIRINE, 2017), ou seja, é gerada a probabilidade que determinado evento tem de ocorrer. Por sua facilidade de utilização, o método de Monte Carlo possibilita a criação de várias alternativas de previsão da distribuição de probabilidades para a tomada de decisão, apresentando-se como um destaque dentro das teorias de simulação (COELHO JUNIOR et al., 2008).

3.6.1 Histórico

Devido ao seu extenso conhecimento matemático, Stanislaw Ulam sabia que as técnicas de amostragem estatística haviam caído em desuso, isso devido à extensão e tediosidade dos cálculos. Com o miraculoso desenvolvimento do primeiro computador eletrônico ele percebeu que as técnicas de análise estatísticas poderiam ser ressuscitadas. Tal pensamento deu início ao método de Monte Carlo. A metodologia foi proposta por Stanislaw Ulam e Jonh von Neumann e outros especialistas há mais de 70 anos atrás, durante a segunda guerra mundial, no projeto Manhattan do laboratório de armas nucleares nos Estados Unidos (METROPOLIS, 1987).

“Monte Carlo” foi escolhido como referência ao famoso casino em Monaco, analogicamente em referência aos jogos de azar que fazem uso constante de sorteios e de dados realizados nesses lugares (METROPOLIS, 1987).

Após criada, a metodologia foi utilizada em meados dos anos 60 na seleção de projetos de investimento, realizado como parte de um projeto militar, nos Estados Unidos. Nesse trabalho a discussão principal era como fazer uma seleção de projetos baseada nos custos. O autor enfatizou que um único valor determinístico não era um bom indicador de seleção e que seria preciso variáveis estocásticas definidas pela média, desvio-padrão, assimetria, entre outras, para tomar uma decisão ótima na escolha do projeto (DIENEMANN, 1966).

Nos anos 70 ainda haviam dificuldades da utilização de números aleatórios (Método de Monte Carlo). Naquela época, a geração desses valores era difícil, pois pesquisadores e estudiosos ainda usavam tabelas, papel milimetrado e outras formas demoradas de cálculo.

Portanto, na época, o método não ganhou muito destaque. Hoje em dia, o esforço computacional relativamente baixo, torna este método adequado para resolver uma variedade de problemas, com menos esforço (PLATON; CONSTANTINESCU, 2014).

3.6.2 O método

A diferença fundamental entre modelos determinísticos e estocásticos está ilustrada na Figura 1. O modelo paramétrico determinístico estabelece um conjunto de variáveis de entrada, reportadas a um conjunto de variáveis de saída. No modelo estocástico de propagação da incerteza, as variáveis de entrada são aleatorizadas (sendo descritas por uma distribuição aleatória) e o resultado será aleatório também, geralmente seguindo a Distribuição Normal. Este é o princípio básico da simulação de Monte Carlo (PLATON; CONSTANTINESCU, 2014).

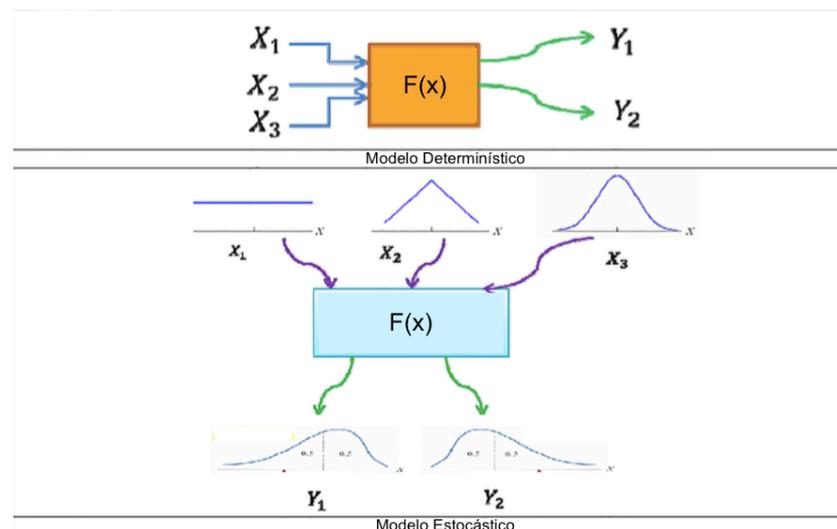


Figura 1. Modelos determinístico e estocástico. Fonte: Planton e Constantinescu (2014).

O coração de qualquer metodologia de Monte Carlo está na geração uniforme de números aleatórios, um processo que produz uma sequência infinita (U_1, U_2, \dots) de números aleatórios no intervalo $(0, 1)$, e na utilização de função de distribuição cumulativa associada a essa variável estocástica.

É necessário ressaltar que é indicado uma pesquisa prévia para saber qual seria a melhor função de distribuição para a variável simulada, de forma a conferir a validade dos resultados. Entretanto, são encontrados com frequência estudos utilizando a função triangular (COELHO JUNIOR et al., 2008; SILVA et al., 2012).

Há uma grande lista de diferentes funções de distribuições, porém somente poucas delas são usadas em avaliação de projetos. Exemplos desse tipo de distribuição são:

Uniforme: há uma igual possibilidade de certo parâmetro estar em determinado intervalo;

Triangular: a distribuição é determinada usando estimativas de mínimo, máximo e mais provável. Na distribuição triangular, os valores de máximo e mínimo não são versões otimistas e pessimistas dos dados, mas sim extremos;

Normal: distribuição simétrica que ocorre comumente na natureza. Essa distribuição é ilimitada, ou seja, se espalha para o infinito a partir de ambos os lados.

Lognormal: distribuição positivamente distorcida (não simétrica; possui uma calda maior à direita). Também não possui limites;

Beta: distribuição limitada, que usa formulas matemáticas que incluem dois coeficientes. Mudando esses coeficientes, a distribuição beta pode tomar diferentes formas. Pode ser simétrico e assimétrico (AGARWAL; VIRINE, 2017).

De acordo com Damodaram (2009) a simulação de Monte Carlo pode ser usada para estimar a distribuição de probabilidade dos retornos de um projeto de investimento. Uma vez elaborada essa distribuição, é possível obter o desvio padrão correspondente. O desvio padrão dos retornos do projeto, obtidos por meio da simulação, podem ser utilizados em substituição ao desvio padrão (volatilidade) dos preços do ativo. De acordo com Monteiro et al. (2012) o método pode ser usado na análise de investimentos utilizando a geração de números aleatórios ligados às variáveis de entrada e saída necessárias no cálculo do VPL.

É possível, por meio da simulação de Monte Carlo, amostrar as incertezas causais, estimar seu efeito conjunto sobre o valor do projeto, inclusive considerando suas correlações, e estimar a volatilidade das variações percentuais do valor.

Moura (1997) propõe para a utilização do o MMC a execução e a análise de seis etapas conforme a seguir:

- a. Desenvolvimento do modelo: Nesta fase, o problema e suas características são modelados em uma planilha eletrônica, na qual a relação entre as variáveis do modelo é estabelecida;
- b. Identificação de incertezas: Identificar no modelo as variáveis que exercem significativa importância em seu resultado. Identificadas as incertezas torna-se possível enquadrá-las como variáveis do modelo em questão. O estudo de cada uma das variáveis é necessário para que se defina a melhor distribuição de probabilidade que se ajusta àquela série de dados;

- c. Identificação de variáveis de análise ou de saída: As variáveis de estudo são identificadas e analisadas quanto ao seu comportamento;
- d. Gerar Simulação: Executar o modelo N vezes, gerando a série de valores para a variável de análise;
- e. Análise do Modelo Simulado: Obter a distribuição de freqüência e distribuição de freqüência acumulada para as variáveis de análise (saída);
- f. Tomar a Decisão: Tomar a decisão com base nas informações obtidas em conjunto com outros aspectos relevantes do modelo.

3.7 Análise de risco no ambiente florestal

A metodologia Monte Carlo tem sido amplamente utilizada no cenário florestal, sendo aplicada a abordagem em diversos tipos de problemas. A análise de risco e de viabilidade financeira ocupam uma grande posição dentre os assuntos tratados por esse método. Silva (2012) e Coelho Junior et al., (2008), em estudos de sistemas agroflorestais, utilizaram a metodologia Monte Carlo para avaliarem os riscos dos sistemas, observando, também, os fatores que mais influenciaram as variáveis de saída do projeto. Moreira et. al (2017) analisou o risco do impacto da distância de transporte de madeira no retorno esperado da produção florestal.

González et. al, (2017) avaliou a viabilidade e os riscos financeiros de um plantio de clones de *Eucalyptus grandis* X *E. Urophylla* para produção de celulose. O risco foi analisado com base nos indicadores econômicos: valor presente líquido e taxa interna de retorno. Silva et al. (2014) utilizaram a metodologia para determinar a viabilidade e a rotação econômica de plantios de *Eremanthus erythropappus*.

Mei e Clutter (2013) analisaram opções de contratos florestais usando duas hipóteses de preço. Para eles, os produtores florestais podem negociar diferentes contratos de venda de madeira com as companhias de produtos florestais. Negociações em que os produtores têm o direito, mas não a obrigação de vender a madeira em um período específico e pré-determinado. Esse tipo de contrato é similar a uma opção Americana (*American put option*) no mercado de ativos de madeira e pode ser usado para proteger o produtor contra perdas nas quedas de mercado.

À medida que o final do projeto se aproxima, a estratégia ideal para um produtor é exercer a opção, ou seja a venda, se o retorno estiver dentro do esperado. Antes disso, a estratégia ideal é pesar o valor do exercício imediato, contra os fluxos de caixa antecipados de continuar, e depois exercer se o primeiro for maior que o último.

A metodologia pode ser utilizada, também, em situações fora do ambiente financeiro. Lautenberger (2017) usou um modelo de propagação de fogo como mecanismo computacional para a simulação Monte Carlo, em que pontos de ignição foram colocados em locais aleatórios na paisagem. O objetivo foi gerar mapas de probabilidade, consequência e risco de fogo. Os autores encontraram que as áreas historicamente danificadas se identificaram como de alto nível de risco de incêndios na simulação, sugerindo que a metodologia pode ser capaz de identificar áreas onde danos similares podem ocorrer no futuro.

Alguns autores fizeram uso do mesmo método na análise de padrão de distribuição espacial e de fragmentos florestais (ARAÚJO et al., 2014; LIEBSCH et al., 2016). Em uma abordagem multicritérios, também chamada de programação de metas, Aldea et al. (2014) propôs um procedimento para integrar serviços ecossistêmicos no manejo florestal. O modelo foi desenvolvido em dois cenários: um determinístico e outro com uma análise Monte Carlo. Os resultados mostraram que a abordagem Monte Carlo pode ser diretamente aplicada em outras situações do manejo florestal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização e localização da área de estudo

O local da pesquisa encontra-se na microrregião de Santa Cruz do Sul, no Estado do Rio Grande do Sul – Brasil. Foi considerada a produção de Eucalipto de pequenos produtores da região. O município de Santa Cruz, localizado na latitude 29°43'4" e longitude 52°25'33", possui área de 733,4 km², com população estimada de 127.429 no ano de 2017 (IBGE, 2017). A região possui altitude de 73 metros e clima subtropical do tipo Cfa, com temperaturas variando entre 15,1C° e 25C° e pluviosidade média anual de 1311 mm (CLIMATE-DATA, 2017). O município é a quinta maior economia do estado e uma das dez maiores cidades do Rio Grande do Sul, ocupando a quinta posição no ranking estadual do PIB em 2014. A região tem no tabaco a sua principal fonte de receita, emprego e renda, sendo considerado polo mundial da indústria fumageira (CORRALO, 2017).

4.2 Material e Métodos

4.2.1 Coleta de dados

O processo de obtenção dos dados foi feito por Moreira et.al. (2017) em uma combinação de visitas a pequenos produtores rurais, que possuíam áreas florestadas em suas propriedades, a especialistas em difusão de tecnologia silvicultural de instituições que representam os agricultores, assim como visitas as indústrias de produção de fumo, que também prestam assistência técnica aos produtores rurais. As visitas ocorreram no segundo semestre de 2015 e primeiro semestre de 2016.

4.2.2 Modal de produção

Devido à ampla quantidade de práticas silviculturais utilizadas pelos produtores florestais da região, algumas incoerentes com as recomendações técnicas (espaçamento inadequado, falta de combate a formigas e a matocompetição e falta de adubação), Moreira et.al. (2017), em associação com os especialistas da região, definiram um modal de produção que seria recomendado para esses produtores, e utilizado neste trabalho de forma a ser utilizado como um comparativo aos outros regimes de produção.

Tal modal foi elaborado a partir da recomendação técnica utilizada em projetos de reflorestamento de produtores familiares com o objetivo de obtenção de crédito florestal, sendo

validado em reunião com os especialistas em assistência técnica e silvicultural das entidades e empresas locais. A reunião de validação ocorreu no segundo semestre de 2016.

O modal de produção considera como objetivo principal a produção de lenha para secagem do fumo de produção própria. O excedente de madeira é comercializado com agricultores próximos (raio médio de transporte de 3km). A propriedade modal possui cerca de 14,5 hectares, sendo 1,5 hectares de eucalipto. O ciclo de produção consiste em duas rotações com sete anos de idade cada, totalizando em um ciclo de 14 anos.

O sistema definido é de baixa tecnologia, com início no combate de formiga, aos 40 dias antes do plantio, com aplicação sistemática de 4kg de isca formicida por hectare (uma isca a cada 24m). O processo segue com uma roçada semi mecanizada, pré-plantio, para limpeza da área, acompanhada de aplicação de herbicidas, pré e pós-emergente, antes do plantio. O plantio é realizado em área dobrada (declivosa, não apta a plantio de fumo), com espaçamento recomendado de 3x2 m. O preparo do solo é realizado com cultivo mínimo, sendo realizada uma subsolagem rasa com trator de 55 cv.

É utilizado 100 g de adubação de arranque (NPK 07-24-00) e 100 g de adubação de cobertura (NPK 22-00-00) após 120 dias do plantio. É realizado um repasse de combate à formiga com 1,5 kg de isca por hectare e a área é limpa com uma roçada semi mecanizada na entrelinha, além de um coroamento leve aos 4 meses após o plantio. Entre o primeiro e o segundo ano realiza-se outra roçada na entrelinha e, a partir daí, apenas o monitoramento anual de controle de formiga.

A colheita é realizada pelo próprio agricultor aos sete anos de idade do plantio, sendo semi mecanizada (motoserra), e a remoção (baldeio) é realizada com carro de boi e/ou trator agrícola e reboque. A segunda rotação é iniciada com a seleção manual dos brotos, com um ano de idade, sendo deixados um ou dois brotos por toco, um controle de formiga e uma aplicação de adubação de cobertura semelhante à da implantação.

O custo de arrendamento da terra considerado, de acordo com Moreira et. al. (2017), foi de R\$500,00/ha.ano, não sendo considerados custos de administração, manutenção de estradas e aceiros, devido à pequena escala de produção. O custo de corte foi estimado em R\$9,08/mst, o de baldeio e empilhamento em R\$12,00/mst e o custo de transporte (carregamento, transporte e descarregamento) em R\$8,50/mst.

O custo de oportunidade da diária do trabalhador familiar foi o valor de uma diária paga na entressafra do fumo (60,00 R\$/dia), não sendo incluídos impostos e custos trabalhistas no

cálculo. O rendimento de corte e traçamento de toras de um metro de comprimento considerado foi de 12 mst/dia, com um consumo de combustível (96% de gasolina e 4% de óleo dois tempos) de cinco litros por dia. Utilizou-se uma motosserra de 55,5 cc e 2,6 kw de potência, com custo de aquisição de R\$ 2000,00, com 2.400 horas de trabalho, dez anos de depreciação (devido à baixa intensidade de uso), 12% de valor residual, e uma média de trabalho de 6 h/dia, resultando em uma média de 40 dias de uso por ano. O custo de manutenção e reparos foi de 60% do valor da depreciação (POKORNY et. al., 2011) e um custo fixo anual de R\$ 319,60 (R\$ 105,60 de reparos e manutenção, R\$ 176,00 de depreciação, e R\$ 38,00 de juros sobre o capital médio imobilizado), com um custo fixo médio de 7,99 R\$/dia.

O consumo de combustível e o rendimento diário foram obtidos após conversas com trabalhadores que prestam serviço utilizando a motosserra para colher madeira de Eucalipto. Foram relatados rendimentos de 12 mst de madeira cortada e traçada em um dia de trabalho realizado por um motosserrista com capacitação mediana, e rendimento de 15 mst a produção diária de um trabalhador bem treinado. O consumo de óleo de corrente foi estimado utilizando a mesma proporção encontrada por Leite et al. (2014), resultando em 1,78 litros por dia. O ultimo dado para o cenário de base foi o uso de 38,10 dias de trabalho para se realizar a colheita de um hectare, com um custo total de R\$ 4.153,52.

4.2.3 Definição dos regimes de manejo

Foram definidos dois tipos de regimes de manejo, alto fuste e talhadia. Para o primeiro regime foram estipuladas quatro idades de corte (de 6 a 9 anos). Para o segundo regime, foram feitos arranjos, em que na primeira rotação determinaram-se quatro idades de corte (de 6 a 9 anos) e, para cada uma delas, defiram-se outras quatro idades de corte, para a segunda rotação. Foram totalizados 20 regimes de manejo, como representados na tabela 1, assim como seus respectivos códigos.

Tabela 1: Idades de primeiro e segundo cortes e códigos dos regimes de manejo.

1º Corte	2º Corte	Código
6	0	P06S00
6	6	P06S06
6	7	P06S07
6	8	P06S08
6	9	P06S09
7	0	P07S00
7	6	P07S06
7	7	P07S07*
7	8	P07S08
7	9	P07S09
8	0	P08S00
8	6	P08S06
8	7	P08S07
8	8	P08S08
8	9	P08S09
9	0	P09S00
9	6	P09S06
9	7	P09S07
9	8	P09S08
9	9	P09S09

*Modal de produção definido para os pequenos produtores da região.

A produtividade foi estimada com a ajuda do software SisEucalipto, uma opção dentre as várias da família Sis, criada pela Embrapa Florestas. Os Sis são softwares de modelagem florestal, que, conforme os regimes de manejo que o usuário indica, descrevem como um povoamento florestal cresce e produz, além de servirem de base para a otimização da produção de madeira (OLIVEIRA, 2011). Valores de Incremento Médio Anual (IMA), entre 35,5 e 49,5mst/ha, com intervalos de 10 mst/ha, foram inseridos no programa de forma a estimar a tabela do volume da produção nas diferentes idades do talhão (2º ao 9º). Foi utilizado a unidade de medida de volume em metro estéreo por ser a forma utilizada pelos produtores da região na quantificação da lenha produzida. Para isso utilizou-se o fator de conversão no valor de 1,42.

A taxa mínima de atratividade (TMA) utilizada para a remuneração real do capital (acima da inflação) foi 3,8% ao ano, uma vez que os fluxos de caixa foram elaborados a preços constantes, de acordo com o calculado por Moreira et al. (2017). O cálculo da TMA se deu a partir do cálculo da taxa de inflação acumulada pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) (IBGE, 2017) entre os anos de 2008 e 2015, em seguida se calculou a taxa de remuneração acumulada pelos títulos públicos do governo federal dado pela Selic (RECEITA FEDERAL DO BRASIL, 2017) para o mesmo período. Calculou-se, então, a remuneração real da Selic, descontando-se a inflação dada pelo IPCA para os oito anos considerados e, por fim, calculou-se a taxa anual equivalente desta remuneração, chegando-se ao custo de oportunidade real anual do capital utilizado.

4.2.4 Monte Carlo

De acordo com Martins et al. (2015); Monteiro; et al. (2012) e Moura (1997), a execução e a análise do método Monte Carlo seguem algumas etapas, e assim foram seguidas neste trabalho:

- a) Definição do modelo, em que o problema e suas características são modelados em planilha eletrônica, na qual a relação entre as variáveis do modelo é estabelecida. Neste trabalho foram gerados fluxos de caixa para todos os regimes de manejo, sendo calculados os indicadores de viabilidade financeira para cada um deles;
- b) Identificação no modelo as incertezas, ou seja, as variáveis de entrada que exercem significativa importância em seu resultado. Neste trabalho foram utilizadas as variáveis preço, produtividade e perda de produtividade na segunda rotação;
- c) Identificação de variáveis de análise ou de saída, em que as variáveis de estudo são identificadas e analisadas quanto ao seu comportamento;
- d) Realização da simulação, no qual o modelo é executado N vezes, gerando a série de valores para a variável de análise;
- e) Análise do Modelo Simulado.

4.2.4.1 Variáveis de entrada (input)

As variáveis de entrada são as consideradas variáveis de risco, ou seja, valores incertos que devem ser modelados com distribuições de probabilidade. As estimativas dos valores de preço da madeira (R\$/mst) e produtividade (mst/ha) foram consideradas como as variáveis de

risco. Moreira et al. (2016), em estudo com madeira para lenha de Eucalipto, encontraram que preço e produtividade foram as variáveis que apresentaram maior correlação com os valores de retorno da produção. Os cenários de perda de produtividade na segunda rotação da floresta, quando há a opção de segundo corte, foram considerados como a terceira fonte de risco. Tais cenários foram definidos arbitrariamente com base na literatura sobre perdas de produtividade na segunda rotação para o mesmo gênero (FINGER, 1997; GAVA, 1997; SILVA, 2016).

Para os valores de preço, a distribuição de probabilidade utilizada foi a triangular, em que foram definidos valores de máximo, mínimo e mais provável para a realização da análise (tabela 2).

Tabela 2: Valores de entrada de preço utilizados para a determinação da distribuição triangular na simulação de Monte Carlo.

	Unidade	Variável de entrada	Valor mínimo	Valor mais provável	Valor máximo
Preço da madeira	R\$/mst	53,00	50,00	53,00	65,00

Para valores de produtividade foi empregada a distribuição discreta, de tal forma que o resultado da simulação do IMA apresentasse probabilidade semelhante à distribuição triangular (Figura 2). Tal cálculo foi feito a partir das funções de probabilidade triangulares a seguir:

$$\frac{(x-a)^2}{(b-c)(c-a)}, \text{ para } a \leq x < c$$

$$\frac{(c-a)}{(b-a)}, \text{ para } x = c$$

$$1 - \frac{(b-x)^2}{(b-a)(b-c)}, \text{ para } c < x \leq b$$

em que: x é a produtividade; a é valor mínimo, b é valor máximo e c valor modal.

A cada simulação a tabela de produção volumétrica correspondente ao IMA selecionado era atualizada e o volume produzido em todos os regimes de manejo com suas diferentes idades de corte eram calculados, considerando uma mesma produtividade do sítio (Tabela 3).

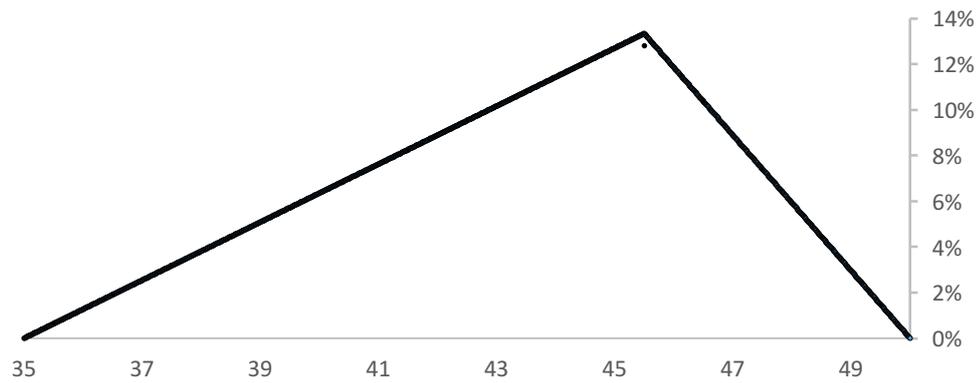


Figura 2. Distribuição de probabilidade do Incremento Médio Anual (IMA) aos 7 anos de idade.

Tabela 3: . Classes de IMA, probabilidades de ocorrência, índice de sítio e produtividade para diferentes idades do povoamento.

IMA (mst/ha)	35,5	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5	41,5	42,5	43,5	44,5	
Probab.	0,6%	1,9%	3,2%	4,4%	5,7%	7,0%	8,3%	9,5%	10,8%	12,1%	
Índice de Sítio	26,5	26,82	27,15	27,45	27,77	28,1	28,4	28,7	29	29,3	
Idade (anos)	2	20,3	21,1	21,9	22,7	23,5	24,4	25,2	26	26,9	27,8
	3	59,5	61,6	63,8	65,9	68,1	70,4	72,6	74,8	77	79,3
	4	108,1	111,7	115,4	118,9	122,6	126,6	130,2	133,8	137,6	141,3
	5	158,2	163,1	168,3	173	178,2	183,5	188,4	193,4	198,4	203,4
	6	205,7	211,7	218	223,8	230	236,5	242,5	248,5	254,5	260,6
	7	248,6	255,5	262,7	269,3	276,4	283,8	290,6	297,4	304,3	311,2
	8	286,4	294	302	309,2	317	325,1	332,5	340	347,5	355
	9	319,3	327,5	336	343,8	352,1	360,8	368,7	376,6	384,6	392,7

continuação:

IMA	45,5	46,5	47,5	48,5	49,5	
Probab.	12,8%	10,4%	7,4%	4,4%	5,6%	
Índice de Sítio	29,6	29,9	30,2	30,5	30,8	
Idade (anos)	2	28,7	29,6	30,4	31,4	32,3
	3	81,8	84,1	86,3	88,7	91,1
	4	145,5	149,2	152,9	156,8	160,8
	5	209	214	218,9	224,2	229,5
	6	267,4	273,4	279,2	285,5	291,8
	7	318,8	325,6	332,2	339,2	346,4
	8	363,4	370,7	377,9	385,6	393,3
	9	401,6	409,4	417,1	425,3	433,5

Já para os cenários de perda de produtividade na segunda rotação foi empregada a função RISKSIMTABLE() do software @RISK. Essa função permite que cada simulação execute o mesmo número de iterações e colete dados dos mesmos intervalos de entrada especificados para diferentes cenários (Tabela 4). Ela também é usada para realizar simulações múltiplas quem testam a sensibilidade do modelo da análise de risco. O @RISK processa e exibe automaticamente os resultados de cada uma das simulações individuais, permitindo uma comparação facilitada.

Tabela 4: Valores de perda de produtividade utilizados na função Risksimtable() na simulação de Monte Carlo.

	Unidade	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Perda de produtividade	%	0%	15%	30%

4.2.4.2 Variáveis de Saída (output)

A variável de saída é o resultado da simulação, a partir dela são feitas as análises e realizada a tomada de decisões em relação à viabilidade do projeto florestal para diferentes regimes de rotação. Foram utilizados, como variáveis de saída, os indicadores de viabilidade financeira Valor Anual Equivalente (VAE), Taxa Interna de Retorno (TIR), relação Benefício/Custo (RBC) e Custo Médio de Produção (CMP), cujas equações estão representadas abaixo, para cada um dos 20 regimes. Além de serem incluídos, também nas variáveis de saída, os valores máximos atingidos por cada indicador de viabilidade, em cada regime.

$$VAE = \frac{VPL \cdot i \cdot (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$$

$$RBC = \frac{\sum_{j=0}^n R_j (1 + i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j}}$$

$$CMP = \frac{\sum_{j=0}^n C_j (1 + i)^{-j}}{\sum_{j=0}^n Q_j (1 + i)^{-j}}$$

Em que:

VPL é valor presente líquido; R é o valor das receitas, C é o valor dos custos; Cj é o custo total, Qj é a produção total, i é a taxa de desconto e n é o período de tempo do projeto.

4.2.4.3 Simulação e análise dos dados

A análise de risco foi feita, com o auxílio do software @Risk, por meio da aplicação do método Monte Carlo. Primeiramente foi realizado um teste de convergência para as duas variáveis de saída com tolerância de 1% e nível de significância de 99% no quartil 75, para avaliar a quantidade de interações (simulações) confiáveis a serem utilizadas na simulação de análise. O teste modelo convergiu as distribuições de probabilidade de saída com 18.900 interações.

Foram realizadas 100.000 simulações para a análise dos dados, de forma a produzir um banco de dados com tamanho suficiente para serem feitas inferências seguras quanto às interações entre as variáveis. A estimativa é mais precisa com um número maior de simulações e iterações totais, que é comumente conhecido como a troca entre a precisão e o custo computacional em uma simulação Monte Carlo (MEI; CLUTTER, 2013).

As simulações de Monte Carlo são amplamente utilizadas em finanças para calcular o valor de uma opção com múltiplas fontes de incerteza (CHAUDHARI; KANE; WETZSTEIN, 2016). Mei e Clutter (2013) encontraram que a análise com valores aleatórios de preço conduz para maiores retornos de investimento.

O impacto das variáveis de risco nos indicadores de viabilidade financeira do projeto (output) foi analisado a partir da criação de gráficos elaborados por meio do pacote GGLOT2 no software R Studio (RSTUDIO, 2017; WICKHAM, 2009).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de Viabilidade

O cenário modal de produção (P07S07) possibilitou a remuneração anual equivalente (VAE) ao produtor de R\$589,00 por hectare, além da remuneração pelo uso dos fatores de produção de sua propriedade (terra, trabalho e capital), com uma probabilidade de 65,7% de ser maior que esse valor (Figura 3). O retorno máximo obtido pelo capital investido na atividade (TIR), no cenário modal, apresentou valor de 15,4%, sendo bem maior que a taxa mínima de atratividade (TMA) do projeto (3,8%). A Relação Benefício Custo calculada foi de 1,24, significando que o retorno do projeto se deu em torno de 24% para cada real investido. O valor mínimo a se pagar pela madeira para remunerar todos os fatores de produção utilizados, sem comprometer a viabilidade do projeto (CMP), apresentou valor de R\$42,78, sendo menor que o valor mais pessimista de preço por metro estéreo do produto (R\$50,00).

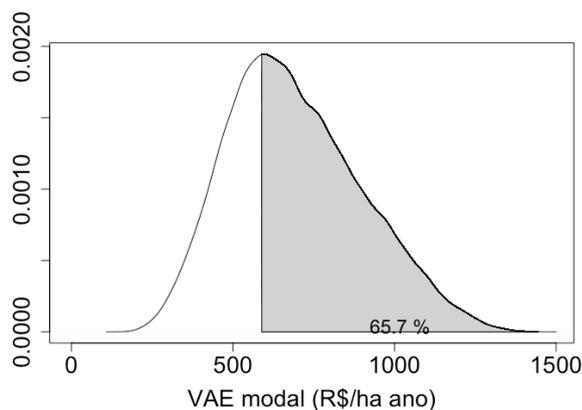


Figura 3. Probabilidade de ocorrência do Valor Anual Equivalente (VAE) no regime de manejo modal. Fonte: Autor

Nos demais cenários de produção, com idades de cortes diferentes do modal, os indicadores também se mostraram viáveis, como pode ser observado na figura 4.

Em todos os regimes de manejo foram obtidos valores para o indicador Valor Anual Equivalente (VAE) maiores que zero, valores de TIR maiores que a TMA, valores de relação benefício/custo maiores que a unidade e valores de custo médio de produção menores que o preço mais pessimista do cenário estudado, portanto pode-se afirmar que o projeto é viável do ponto de vista econômico. Como o projeto encontra-se sob condições de baixo custo, explicado pelo reduzido número de operações, com foco na colheita, que é realizada com motosserra e o

transporte com carro de boi e/ou trator e carreta agrícola, é aceitável que todos os regimes se mostrem vantajosos.

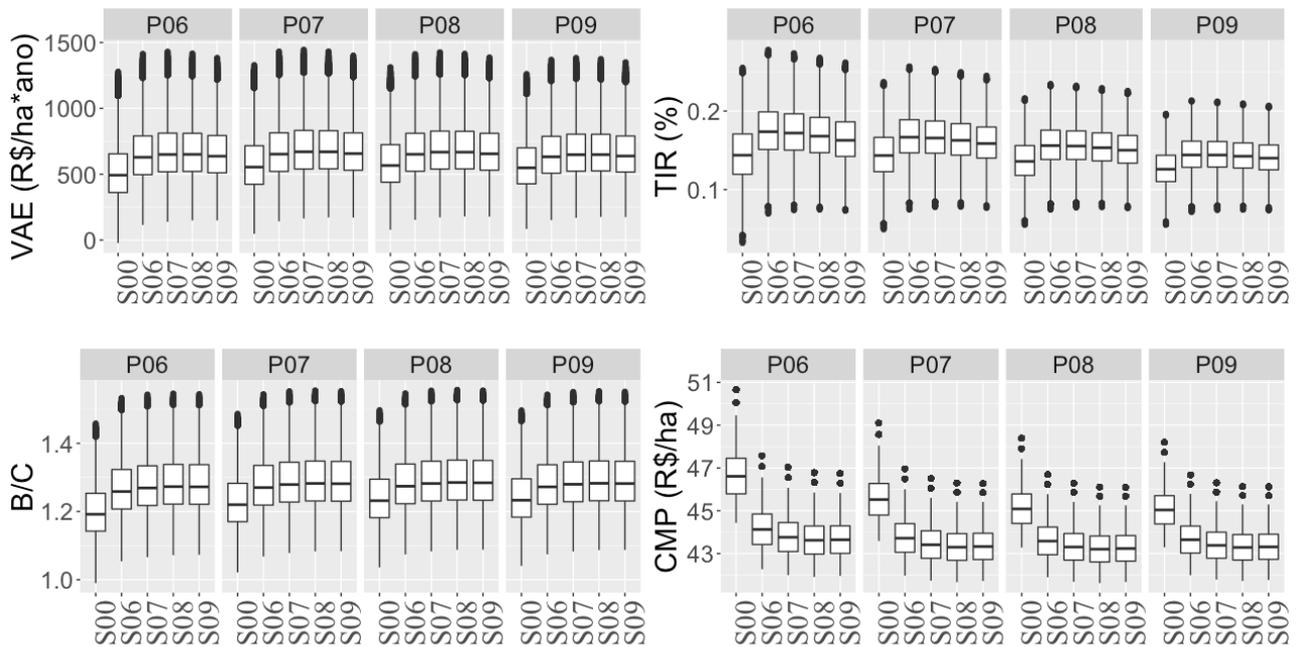


Figura 4: Valor anual equivalente, taxa interna de retorno, relação benefício/custo e custo médio de produção em diferentes regimes de manejo.
Fonte: Autor.

5.2 Frequência dos Regimes Ótimos

Uma das variáveis de saída de cada uma das 100.000 simulações foi o valor máximo que cada indicador de viabilidade assumiu, aferido dentre todos os regimes de manejo. Com os maiores valores de cada indicador e seu regime de manejo correspondente, foram calculadas as frequências com que cada regime se mostrou como o melhor, ou seja, como o ótimo. Para o indicador VAE, os melhores regimes foram os representados na tabela 3.

Tabela 5. Regimes ótimos de acordo com o nível de perda de produtividade na segunda rotação, para o indicador VAE.

Nível de perda	0%	Regime	P07S07
		%	54
	15%	Regime	P08S07
		%	79
	30%	Regime	P08S00
		%	92,4

As porcentagens se referem à comparação entre o regime escolhido, de maior frequência, e os outros regimes.

As figuras de 5 a 7 mostram a representação gráfica da distribuição das frequências com que cada regime de manejo se mostrou como o melhor dentre todos, para cada indicador de viabilidade e nos diferentes cenários de perda de produtividade na segunda rotação.

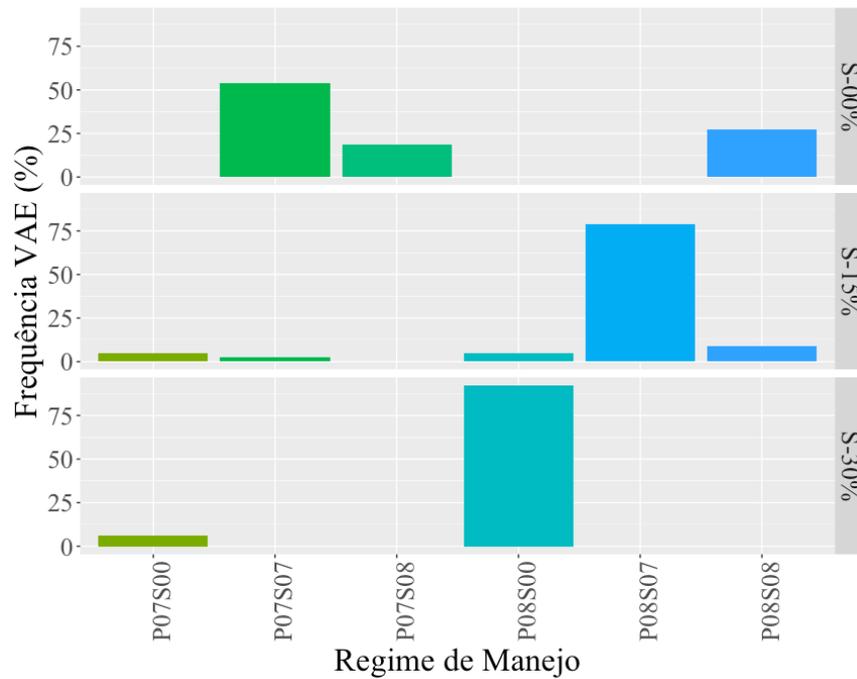


Figura 5: Frequência dos regimes ótimos para os indicadores de viabilidade financeira.
Fonte: Autor.

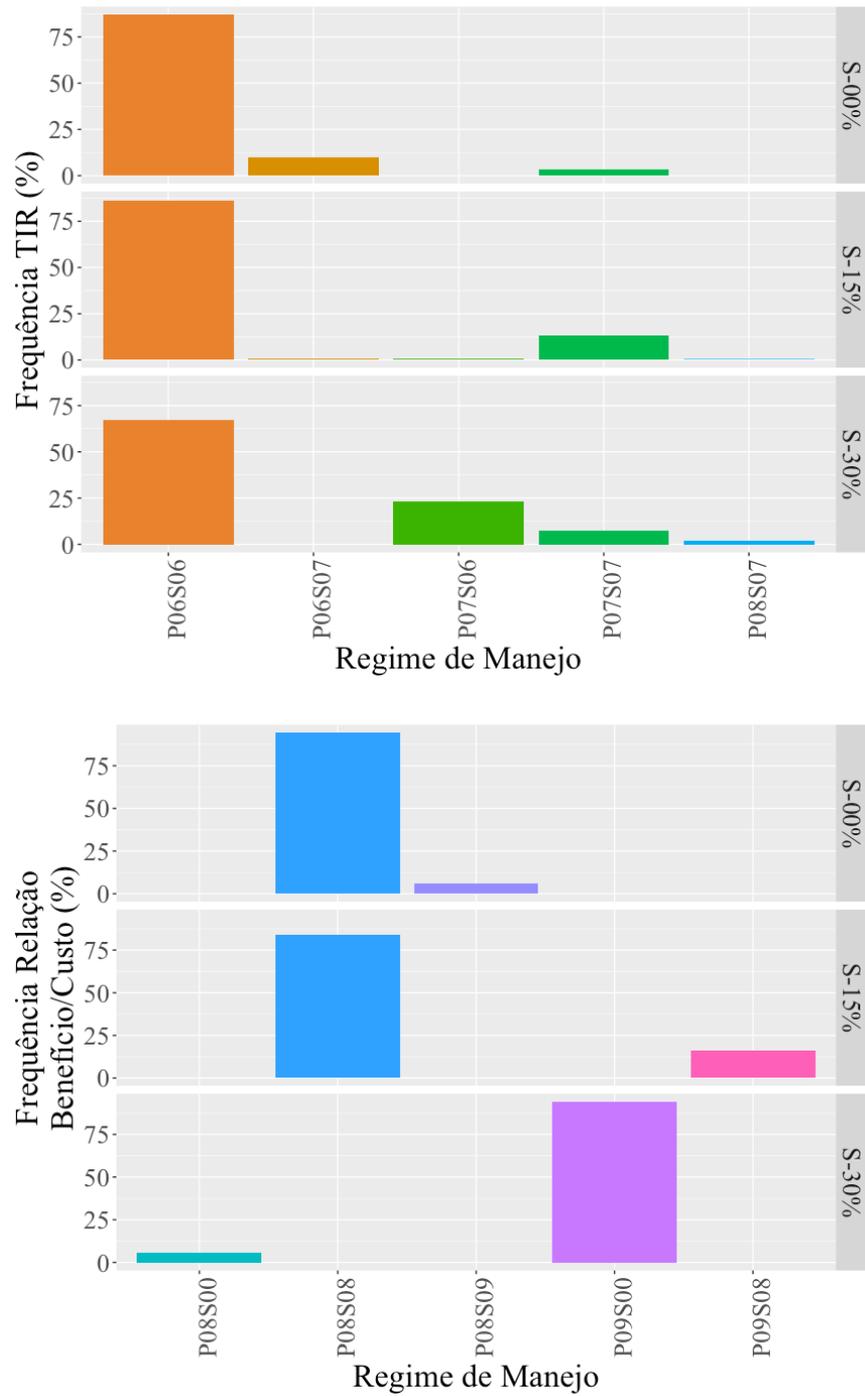


Figura 6: Frequência dos regimes ótimos para os indicadores de viabilidade financeira Taxa Interna de Retorno e Relação Benefício Custo, nos três cenários de perda de produtividade.
 Fonte: Autor.

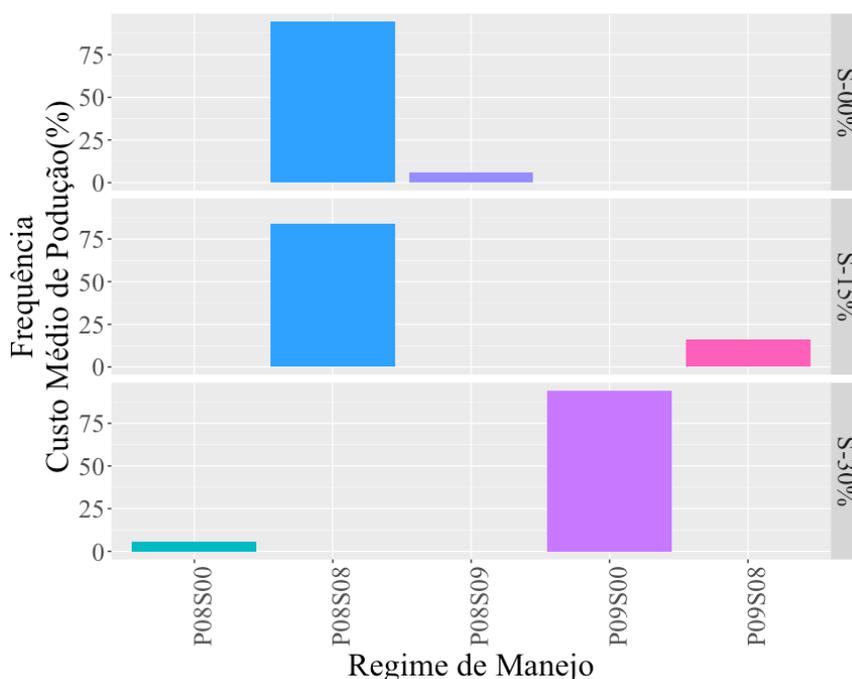


Figura 7. Frequência dos regimes ótimos para os indicadores de viabilidade financeira Custo Médio de Produção, nos três cenários de perda de produtividade.

Fonte: Autor.

Percebe-se que, para um cenário sem perda, o regime ótimo com maior frequência é o próprio modal (P07S07). A partir do momento que a produção começa a ter alguma perda na segunda rotação o modelo aponta que se deve postergar a primeira rotação, em um ano, de forma a aumentar o volume de madeira retirado no primeiro corte. Quando a perda de produtividade na segunda rotação chega a 30%, é preferível que haja conversão de regime de manejo de talhadia para auto fuste, ou seja, é melhor que não seja feita a condução para a segunda rotação. Uma vez que a produtividade na segunda rotação se encontra muito baixa, os custos de fazer a reforma do plantio poderão ser menores que a perda de retorno pela diferença na produção.

O regime ótimo, dado pela TIR, para os três níveis de perda foi o regime P06S06 (87, 86 e 67%, respectivamente). Como a TIR é a taxa em que o VPL é nulo, e o VPL do projeto, sendo representado pelo VAE, foi maior que zero em todos os cenários analisados, é aceitável que a decisão de melhor regime seja a favor daquele com rotações mais curtas, produzindo retornos mais rápidos. Ainda sendo mais indicado realizar o regime com menor ciclo de rotação, 13,4% dos valores de frequência de regime ótimo foram representados pelo regime P07S07, com 15% de perda. Para 30% de perda, 23,4% dos regimes ótimos, foram representados pelo P07S06 e 7,4% pelo P07S07.

O CMP deve ser utilizado quando se deseja realizar um projeto com o mínimo de custo, independente da quantidade produzida e do tempo de duração do investimento (REZENDE; OLIVEIRA, 2013). A partir desse indicador o regime ótimo para os níveis de perda de 0% e 15% foi o P08S08 (94 e 84%, respectivamente) e para o cenário de 30% de perda o ótimo foi o P09S00 (94%). Percebe-se que, assim como na análise do VAE, a um nível de 30% de perda é mais adequado fazer a conversão de um regime de duas rotações para um de uma única rotação.

Como realizar a colheita e a reforma do plantio demandam gastos, a escolha do melhor regime, para o cenário de maior perda, é aquela com maior rotação, havendo a redução da quantidade de cortes e reformas em um horizonte infinito. De acordo com Rezende et al. (1987), a idade de corte tem uma relação indiretamente proporcional com o custo médio de produção. Portanto, o custo tem tendência de queda com o aumento da idade de corte, que após atingir seu mínimo produz um aumento desse indicador. Os outros indicadores também acabam por aumentar a duração da rotação para cenários com receita bruta reduzida (seja pelo preço ou pela produção).

O cálculo da relação B/C apresenta uma relação direta com o CMP, portanto os regimes ótimos resultantes das análises são os mesmos.

A inclusão da perda de produtividade na segunda rotação do talhão na análise do povoamento se mostrou necessária, pois apresentou resultados de grande diferença em comparação aos cenários sem perda. Em testes com clones de Eucalipto, Silva (2016) encontrou perdas de produtividade entre 36 a 78%, mostrando que tal redução na produção é factível. Além de constatar que, em ambientes de grande perda de produção na segunda rotação do povoamento a opção por talhadia não é recomendável, mesmo quando os custos iniciais do alto fuste (preparo do solo, gesso agrícola, aplicação de adubos químicos e aquisição, frete e plantio de mudas) superem os da talhadia.

5.3 Flexibilidade gerencial

A flexibilidade na tomada de decisão tem grande valor quando os investidores enfrentam incertezas quanto ao futuro, especialmente quando há um grau de irreversibilidade associada à decisão. A decisão quanto à idade de corte de uma floresta, seguido da colheita, é irreversível e se o valor de venda desse material for baixo, de uma forma inesperada, a perda de retorno será igualmente irreversível (TEE et al., 2010).

Os produtores florestais encaram incertezas quanto à preço e produtividade e devem arcar com as consequências da variabilidade desses fatores. Portanto, a opção de permanecerem

flexíveis quanto à escolha da idade de corte é vantajoso para o retorno do projeto. Se os preços estiverem muito baixos, na época determinada para o corte, o produtor pode preferir atrasar a operação e esperar, antes de tomar qualquer decisão. Da mesma forma, se os preços estiverem altos, antes do período determinado para o corte, eles podem preferir adiantar a operação para aproveitar o mercado naquele momento (CHAUDHARI; KANE; WETZSTEIN, 2016). O mesmo se aplica para a produtividade do plantio em conjunto com o preço.

Nas figuras de 8 a 10 os regimes ótimos estão relacionados ao preço da madeira e à produtividade do talhão, mostrando a mudança dinâmica da decisão com as variações de realidade do projeto florestal. É possível perceber uma tendência de redução no ciclo de rotação, ou seja, no período entre as etapas de reforma do plantio e corte, com o aumento do preço e da produtividade. Moreira et al. (2016) afirmam que o aumento do preço e da produtividade no projeto florestal aumentam seu retorno (VAE), fato esse que pode reduzir o tempo de maturação do projeto, conseqüentemente, o seu ciclo de rotação.

Os gráficos elaborados permitem uma análise visual do comportamento das rotações ótimas de acordo com a variação do cenário vivenciado. Dessa forma, possibilita ao produtor florestal maior facilidade para a tomada de decisão.

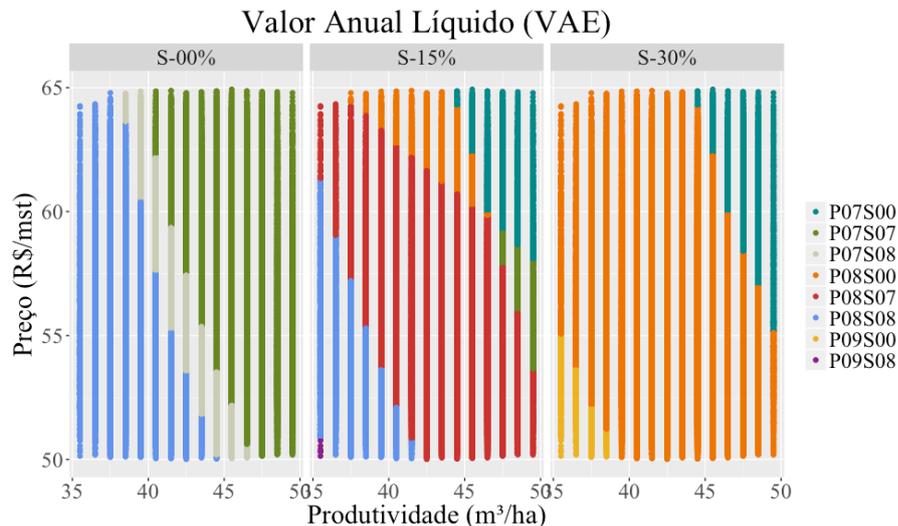


Figura 8: Relação entre os regimes de manejo ótimos com preço (R\$/mst) e produtividade (mst/ha), para cada indicador de viabilidade (VAE).

Fonte: Autor.

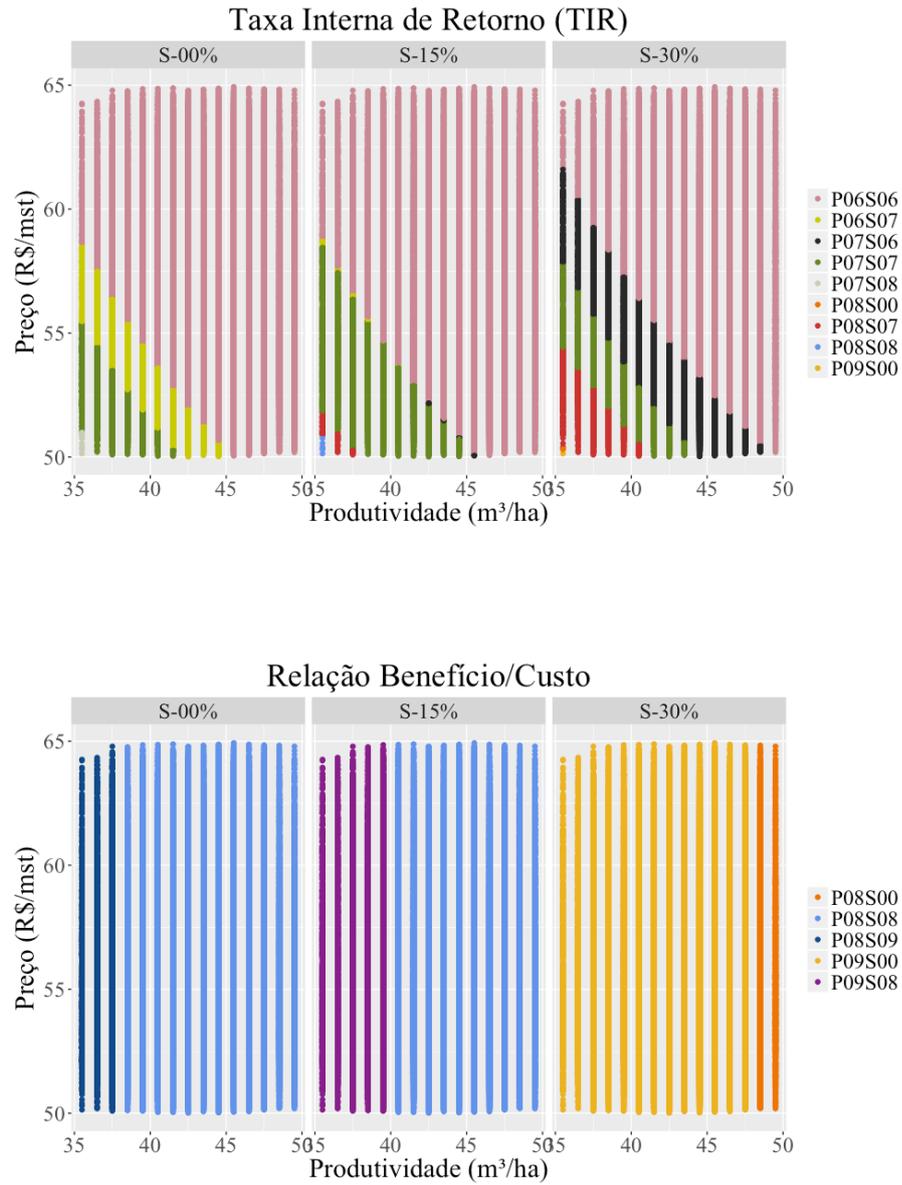


Figura 9: Relação entre os regimes de manejo ótimos com preço (R\$/mst) e produtividade (mst/ha), para cada indicador de viabilidade (TIR e EBC).

Fonte: Autor.

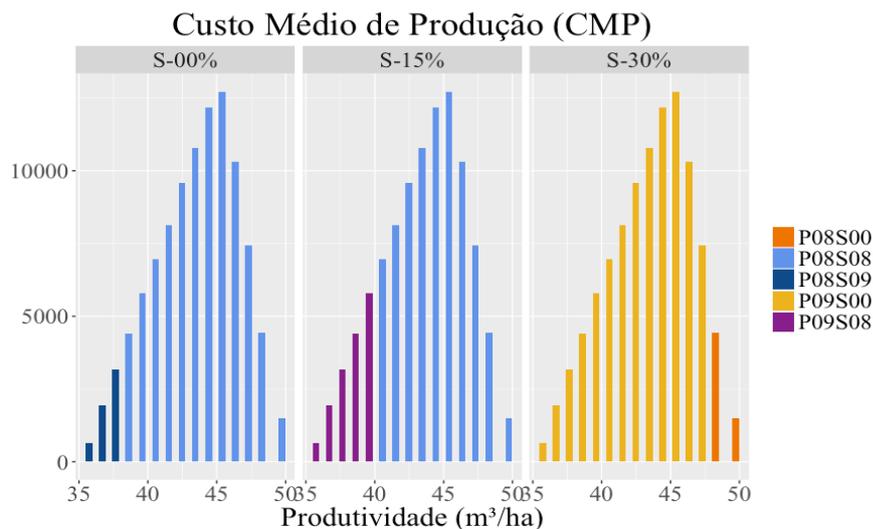


Figura 10. Relação entre os regimes de manejo ótimos com preço (R\$/mst) e produtividade (m³/ha), para cada indicador de viabilidade (CMP).

Fonte: Autor.

Valores de VAE concordam com o resultado de frequência dos regimes ótimos obtidos anteriormente. Isso para altos valores de preço e produtividade, sem perda na segunda rotação. À medida que há uma redução desses dois fatores, há um aumento de um a dois anos no ciclo de rotação.

Para o indicador TIR, assim como verificado anteriormente, o regime ótimo é o P06S06, porém para valores mais baixos de preço e produtividade há uma alteração de regime ótimo, resultando em maiores ciclos de rotação. Projetos florestais possuem um longo período de maturação (IDEFLOR, 2010), portanto, com a redução dos preços e produtividades o projeto precisará de mais tempo para que o custo de manter a floresta em pé seja igual ao benefício da espera, logo precisará de ciclos mais longos. Rezende et al. (2005) afirma que aumentos na tributação dos fatores de produção de um empreendimento florestal gera aumento na idade de corte. Como aumento nos tributos é um acréscimo nos custos, pode-se inferir que uma redução na receita, devido a preços e produtividades diminuídos, pode-se também gerar um aumento na idade de corte do povoamento.

Valores de preço não estão incluídos nos cálculos de CMP, portanto não há influência do preço na decisão quanto ao regime de manejo a partir desse indicador, porém há influência da produtividade. Para os níveis de perda de 0% e 15% há uma redução do ciclo de manejo quando ocorrem valores de produtividade acima de 38 e 40mst/ha, respectivamente. Para o nível de perda de 30%, somente há uma redução no ciclo quando a produtividade atinge 49mst/ha.

A variação da escolha do regime ótimo a partir da relação Benefício/Custo se apresentou igual à escolha a partir do custo médio de produção, porém por motivos diferentes. O CMP não

varia com flutuações de preço, pois, como citado anteriormente, tal fator não está incluído no cálculo, logo a escolha do regime também não muda. Entretanto, o preço está incluído no cálculo de RBC, logo variações em tal fator provocam mudanças no valor do indicador, sendo tão maior quanto maiores os valores de preço. Entretanto, mantendo tudo mais constante (volume e custos) no cálculo da RBC, o fator preço produz alterações proporcionais para todos os regimes de manejo, logo a escolha do regime ótimo também se mantém constante.

Em um ambiente com mercados que enfrentam mudanças e incertezas constantemente, como o florestal, a realização do fluxo de caixa previsto no planejamento inicial irá, provavelmente, diferir do resultado obtido pelo produtor. À medida que novas informações vão surgindo e as incertezas sobre o mercado, produção e futuros fluxos de caixa são mais bem compreendidos, o investidor pode ter, na flexibilidade de escolhas, uma ferramenta valiosa. Tal ferramenta pode prover aumento de lucros em oportunidades futuras ou redução de perdas. Portanto, o método de avaliação proposto neste trabalho tem como finalidade a otimização de retornos obtidos pelos produtores florestais

5.4 Ganho devido a escolha pelo regime ótimo

Na figura 11 estão representados gráficos de distribuição que mostram a diferença de retorno previsto pela escolha do regime ótimo no lugar da escolha pelo regime modal (P07S07), amplamente utilizado pelos produtores da região. Percebe-se que, para níveis mais altos de perda de produtividade na segunda rotação (30%), a decisão por optar pelo regime ótimo pode ser extremamente vantajosa. Em ordem de obter o verdadeiro potencial dos retornos, os produtores florestais devem tomar decisões que melhor acomodam a flexibilidade do investimento (TEE et al., 2014).

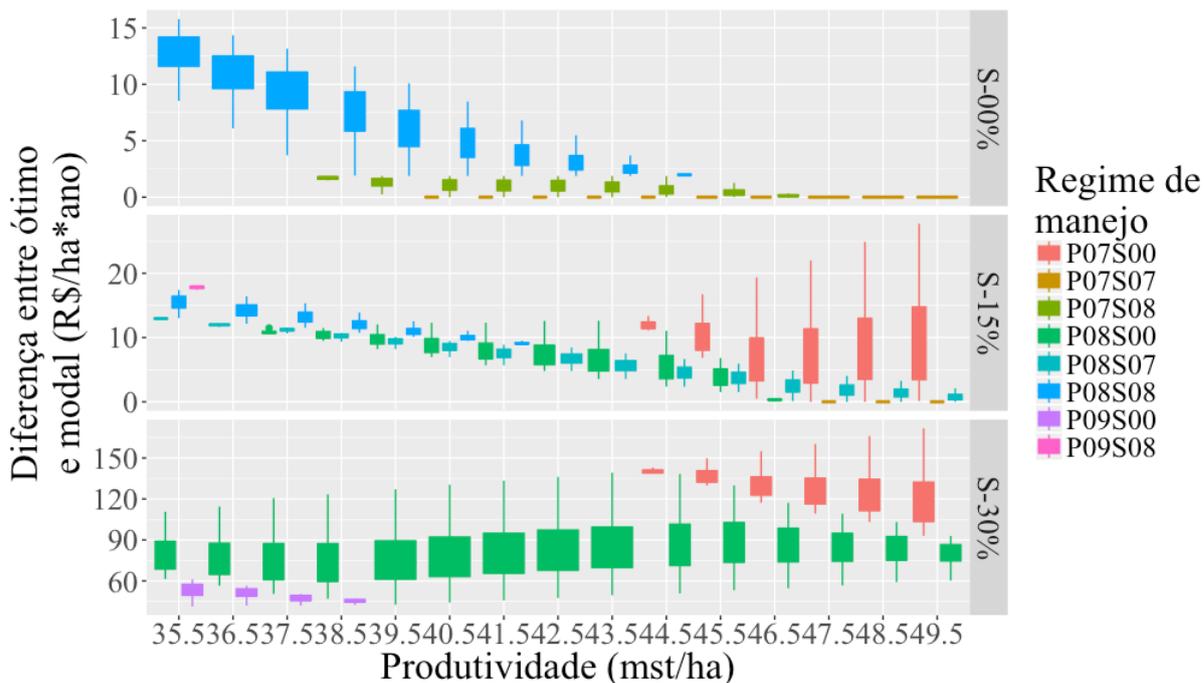


Figura 11. Diferença de retorno gerado pela escolha do regime ótimo em preferência ao regime modal. Fonte: Autor.

No cenário sem perda de produção no segundo corte, quando ocorrem as classes mais baixas de produtividade, o produtor pode ter um aumento entre 2 a 15 reais por hectare, por ano, por escolher o regime P08S08 no lugar do modal. Para classes mais altas de produtividade, a partir de 45 mst/ha, o ganho por escolher outro regime de manejo divergente do modal é praticamente nulo.

No cenário com perda de produtividade em 15% os ganhos do produtor por escolher o regime ótimo ficaram entre 3 e 27 reais por hectare dentre todas as classes de produtividade, porém com variações na escolha do regime. Nas classes maiores que 44 mst/ha*ano houve uma maior diferença positiva de retorno na escolha pelo regime de alto fuste com corte aos 7 anos. Já para as classes menores que 44 mst/ha*ano não houve grande diferença de retorno entre a escolha por alto fuste (P08S00) ou por talhadia (P08S08 e P08S07). Entretanto, pelo fato de o processo de reforma do plantio ser dispendioso, é mais indicado optar por regimes de talhadia.

No cenário de perda de produção em 30%, o ganho do produtor pela escolha do regime ótimo foi consideravelmente maior que nos outros cenários, na faixa de 45 a 170 reais por hectare. Nas classes de produtividade abaixo de 44 mst/ha*ano os maiores retornos foram oriundos da escolha pelo regime de alto fuste com corte aos 8 anos, já nas classes mais altas a esse valor, os maiores retornos foram os da escolha por alto fuste com corte aos 7 anos. Souza et. al. (2001) afirmam que maiores níveis de produtividade tendem a antecipar a idade de corte de povoamentos de *Eucalipto*.

Devido a ampla janela de idades de rotação tecnicamente possíveis, o produtor florestal pode definir a idade de corte para quando lhe for mais vantajoso, dadas as combinações entre preço da madeira, produtividade e perda de produtividade na condução do plantio. Dessa forma, podendo gerar um aumento nos retornos do projeto florestal.

6 CONCLUSÕES

O valor do projeto foi de mais de R\$589,00 por hectare, com o plantio sendo cortado no modal de produção, aos sete anos no primeiro e no segundo corte, sendo considerado viável. A TIR do projeto resultou em uma taxa de 15,4%, a relação Benefício/Custo em 1,24 e o Custo Médio de Produção em 42,78, sendo maior que o cenário mais pessimista de preço (R\$50,00).

Utilizando a metodologia Monte Carlo o projeto se mostrou viável em todos os cenários de regimes de corte, sendo possível ser flexível na escolha da melhor opção, dependendo da produtividade, perda de produtividade no segundo corte e do mercado no momento da colheita.

Sem perda de produtividade na segunda rotação o melhor regime, pela metodologia Monte Carlo, foi o próprio modal, porém com mudanças na escolha da idade de corte decorrentes de variações no preço e produtividade do povoamento. Nos cenários com alto nível de perda na segunda rotação (30%) encontrou-se que é mais indicado optar por regimes de alto fuste, além de ser o caso em que o produtor pode ganhar até R\$170,00 ha/ano ao optar pelo regime ótimo em vez de utilizar o regime modal. Tais regimes de alto fuste foram o com corte aos sete anos, para altos níveis de produtividade ($>44\text{mst/ha}$) e com corte aos oito anos para níveis mais baixos de produtividade.

Foi encontrado também que baixos valores de preço e/ou produtividade tendem a aumentar a idade de corte de povoamentos de Eucalipto.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da metodologia Monte Carlo na determinação da rotação florestal se mostrou muito promissora, pois conseguiu representar os riscos dessa etapa de manejo nos resultados. A utilização do método em projetos florestais possibilita a melhor visualização de seus retornos, assim como auxilia na otimização deste valor. Desse modo, o investimento pode ser analisado com maior grau de segurança.

A obtenção de resultados não determinísticos coloca ao alcance do produtor florestal a opção de permanecer mais ativo na tomada de decisões quanto ao seu projeto. A utilização de gráficos na representação dos resultados auxilia na interpretação dos resultados pelos produtores.

Com as ferramentas certas, o método não é de difícil aplicação, podendo ser utilizado, de forma simplificada, em tradicionais planilhas eletrônicas. A flexibilidade nas decisões obtida pelos produtores pode trazer significativo aumento no retorno de suas produções, assim como redução de perdas decorrentes de escolhas erradas.

Pelo fato da região ser representada por grandes produtores, os resultados de alta viabilidade encontrados para os pequenos produtores da área têm grande importância. Os baixos custos de produção fazem com que tais produtores tenham altos retornos oriundo de suas florestas.

8 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGARWAL, R.; VIRINE, L. Monte Carlo Project Risk Analysis. In: **Handbook of Research on Leveraging Risk and Uncertainties for Effective Project Management**. Canada: IGI Global, 2017. p. 21.

ALDEA, J. et al. Participatory goal programming in forest management: An application integrating several ecosystem services. **Forests**, v. 5, n. 12, p. 3352–3371, 2014.

ANTONIK, L. R. Análise de projetos de investimento sob condições de risco Introdução. **Revista da FAE**, v. 7, n. 1, p. 67–76, 2004.

ARAÚJO, E. J. G. et al. Padrão espacial de espécies arbóreas em fragmento de floresta estacional semidecidual. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 57, n. 2, p. 166–171, 2014.

ARCO-VERDE, M. F.; AMARO, G. Cálculo de indicadores financeiros para sistemas agroflorestais. **Documentos/Embrapa Roraima**, 57, p. 36, 2014.

AVEN, T. **Foundation of Risk Analysis**. 2. ed. [s.l.] John Wiley & Sons, 2012.

AZEVEDO, G. B. DE et al. Estimativas volumétricas em povoamentos de Eucalipto sob regime de alto fuste e talhadia no sudoeste da Bahia Gileno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 31, n. 68, p. 309–318, 2011.

BRASIL, R. F. DO. **Taxa de juros Selic**.

BRUNI, A. L. **Avaliação de Investimentos**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2013.

CHAUDHARI, U. K.; KANE, M. B.; WETZSTEIN, M. E. The key literature of, and trends in, forestry investment decisions using real options analysis. **International Forestry Review**, v. 18, n. 2, p. 146–160, 2016.

CHAVES, R.; MARRICHI, A. H. C. Manejo de Talhadia (2ª Rotação) na Duratex. **Série Técnica - IPEF**, v. 21, n. 42, p. 7, 2015.

CHEN, S.; INSLEY, M. Regime switching in stochastic models of commodity prices: An application to an optimal tree harvesting problem. **Journal of Economic Dynamics and Control**, v. 36, n. 2, p. 201–219, 2012.

CLIMATE-DATA. **Clima**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/4071/>>. Acesso em: 18 set. 2017.

COELHO JUNIOR, L. M. et al. Análise de investimento de um sistema agroflorestal sob situação de risco. **Cerne**, v. 14, n. 4, p. 368–378, 2008.

CORRALO, I. Santa Cruz do Sul. Uma cidade que não para de crescer. **Revista Verde é Vida**, p. 2, 2017.

DAMODARAM, A. **Gestão estratégica do risco**. 1. ed. Porto Alegre - RS: Bookman, 2009.

DIENEMANN, P. F. **Estimating cost uncertainty using Monte Carlo techniques** Santa Monica - California, 1966. Disponível em: <https://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/research_memoranda/2008/RM4854.pdf>

DUKU-KAAKYIRE, A.; NANANG, D. M. Application of real options theory to forestry investment analysis. **Forest Policy and Economics**, v. 6, p. 539–552, 2004.

FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. DA. **Condução de Plantios de *Eucalyptus* em Sistema de Talhadia**. Colombo: Embrapa Florestas: [s.n.].

FERREIRA, T. C. **Análise econômica de plantios de Eucaliptos para a produção de celulose**. [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2001.

FINGER, C. A. G. **Tabelas para o manejo florestal de *Eucalyptus grandis saligna*, em primeira e segunda rotações**. Santa Maria - RS: [s.n.].

FISCHER, A.; ZYLBERSZTAJN, D. O fomento florestal como alternativa de suprimento de matéria-prima na indústria brasileira de celulose. **Revista Eletrônica de Administração**, v. 72, n. 2, p. 494–520, 2012.

GASTALDI, H. L.; MINARDI, A. M. A. **Opções Reais em Investimentos Florestais** Instituto de Ensino e Pesquisa. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11224/863>>.

GAVA, J. L. Efeito da adubação potássica em plantios de *E. grandis* conduzidos em segunda rotação em solos com diferentes teores de potássio trocável. **Série Técnica IPEF**, v. 11, n. 30, p. 89–94, 1997.

GOMES, F. S. Manejo de Talhadia na Gerdau. **Série Técnica - IPEF**, v. 21, n. 42, p. 6, nov. 2015.

GONÇALVES, J. L. DE M. et al. Produtividade de plantações de Eucalipto manejadas nos sistemas de alto fuste e talhadia, em função de fatores edafoclimáticos. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 103, p. 411–419, 2014.

GONZÁLEZ, L. R.; GORGENS, E. B.; RODRIGUES, L. C. E. Avaliação econômica não determinística pelo método de Monte Carlo de plantios de *Eucalyptus spp.* para a produção de celulose no sudoeste paulista. **Scientia Florestalis**, v. 45, n. 113, p. 31–38, 2017.

HIGGINS, R. C. **Analysis for financial management**. 6. ed. New York: Irwin/McGraw-Hill, 2001.

IBGE. **Cidades@**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/v4/brasil/rs/santa-cruz-do-sul/panorama>>. Acesso em: 18 set. 2017a.

IBGE. **Série histórica dos acumulados no ano: IPCA**.

IBGE. **Florestal Plantada 2014 - 2016**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 28 dez. 2017.

IDEFLOR (INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL DO PARÁ). **Plano safra florestal madeireira do estado do Pará**. Belém - PA: [s.n.].

JOAQUIM, M. S. et al. Aplicação da teoria das opções reais na análise de investimentos em sistemas agroflorestais. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 439–447, 2015.

KULA, E.; GUNALAY, Y. Carbon sequestration, optimum forest rotation and their environmental impact. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 37, p. 18–22, 2012.

LAUTENBERGER, C. Mapping areas at elevated risk of large-scale structure loss using Monte Carlo simulation and wildland fire modeling. **Fire Safety Journal**, v. 91, p. 768–775, 2017.

LEITE, E. DA S. et al. Análise técnica e de custos do corte florestal semimecanizado em povoamentos de Eucalipto em diferentes espaçamentos. **Cerne**, v. 20, n. 4, p. 637–643, 2014.

LESLIE, A. D.; MENCUCCINI, M.; PERKS, M. The potential for *Eucalyptus* as a wood fuel in the UK. **Applied Energy**, v. 89, n. 1, p. 176–182, 2012.

LIEBSCH, D. et al. Influência de impactos antrópicos em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista em Santa Catarina. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 277–287, 2016.

LIU, H.; LI, J. The Study of the Ecological Problems of *Eucalyptus* Plantation and Sustainable Development in Maoming Xiaoliang. **Journal of Sustainable Development**, v. 3, n. 1, p. 197–201, 2010.

MARTINI, A. J. **O plantador de Eucaliptos: a questão da preservação florestal no Brasil e o resgate documental do legado de Edmundo Navarro de Andrade**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2004.

MARTINS, E. F. et al. Estudo estocástico de projeto: Uma análise de sensibilidade com aplicação da simulação de Monte Carlo. **Revista Espacios**, v. 26, n. 17, p. 1–11, 2015.

MEI, B.; CLUTTER, M. L. Valuing a timber harvest contract as a high-dimensional American call option via least-squares Monte Carlo simulation. **Natural Resource Modeling**, v. 26, n. 1, p. 111–129, 2013.

METROPOLIS, N. The beginning. **Los Alamos Science**, p. 125–130, 1987.

MONTEIRO, C. A.; SANTOS, L. S. DOS; WERNER, L. **Simulação de Monte Carlo em decisão e investimento para implantação de projeto hospitalar**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção (Enegep). **Anais...Bento Gonçalves**, RS: 2012

MOREIRA, J. M. M. Á. P. et al. **Avaliação do impacto econômico de danos causados por macacos-prego a plantios de Pinus taeda no Sul do Brasil: método proposto e estudo de caso**. Colombo - PR: [s.n.].

MOREIRA, J. M. M. Á. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. DE. Impacto do regime de manejo na rentabilidade da produção de lenha de Eucalipto na região de Itapeva-SP, sob condições de risco. **54º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural**, p. 13, 2016.

MOREIRA, J. M. M. Á. P.; SIMIONI, F. J.; SANTANA, L. F. DE. Impacto do Custo de Transporte no Risco da Rentabilidade Florestal na Região de Itapeva-SP. **Revista paranaense de desenvolvimento**, v. 38, n. 132, p. 77–89, 2017.

MOREIRA, J. M. M. Á. P.; SIMONI, F. J.; JARENKOW, G. L. Impacto do rendimento de corte e da densidade de plantio na rentabilidade da silvicultura em pequenas propriedades em Santa Cruz do Sul - RS. **55º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia Administração e Sociologia Rural**, p. 14, 2017.

MOURA, A. D. DE. **Avaliação de projetos sob condições de risco e incerteza utilizando o @risk**. Viçosa, MG: [s.n.].

NGHIEM, N. Optimal rotation age for carbon sequestration and biodiversity conservation in Vietnam. **Forest Policy and Economics**, v. 38, p. 56–64, 2014.

NISHI, M. H. et al. Influência dos créditos de carbono na viabilidade financeira de três projetos florestais. **Revista Árvore**, v. 29, n. 2, p. 263–270, 2005.

OLIVEIRA, E. B. DE. Softwares para manejo e análise econômica de plantações florestais. **Embrapa Documentos 216**, p. 70, 2011.

PINTO, M. M. et al. **Análise de viabilidade econômica de projetos de investimento: métodos utilizados em empresas fabricantes de balas do Estado do Rio Grande do Sul**. XIII Congresso Brasileiro de Custos. **Anais...Belo Horizonte -MG: 2006** Disponível em: <<https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/download/1812/1812>>

PLATON, V.; CONSTANTINESCU, A. Monte Carlo Method in Risk Analysis for Investment Projects. **Procedia Economics and Finance**, v. 15, n. 14, p. 393–400, 2014.

POKORNY, B.; PALHETA, C.; STEINBRENNER, M. **Custos de operações florestais: Noções e Conceitos** Documentos 373. Belém - PA: [s.n.]. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51985/1/DOC-373.pdf>>.

RESENDE, R. R. et al. Emprego de um modelo de crescimento e produção para determinação da rotação em povoamentos de Eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 219–225, 2004.

REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D.; RODRIGUES, C. Efeito dos tributos no custo de produção, rotação e na reforma de *Eucalyptus spp.* **Cerne**, v. 11, n. 1, p. 70–83, 2005.

REZENDE, J. L. P. DE; MINETTE, L. J.; TORQUATO, M. C. Determinação da idade ótima de corte para *Eucalyptus spp.*, para as regiões litorânea, metalúrgica e do rio doce. **Revista Árvore**, v. 11, n. 1, p. 78–89, 1987.

REZENDE, J. L. P. DE; OLIVEIRA, A. D. DE. **Análise econômica e social de projetos florestais**. 3. ed. Viçosa: UFV: Editora UFV, 2013.

RODRIGUES, L. C. E.; MOREIRA, R. M. Gerenciamento de florestas de *Eucalyptus* com modelos de programação linear. **Série Técnica - IPEF**, v. 6, n. 19, p. 1–15, 1989.

RODRIGUEZ, L. C. E.; BUENO, A. R. S.; RODRIGUES, F. Rotações de Eucaliptos mais longas: análise volumétrica e econômica. **Scientia Florestalis**, v. 1, n. 51, p. 15–28, 1997.

RSTUDIO. **RStudio: Integrated development environment for R**Boston, MA, 2017.

SANTOS, E. M. DOS; PAMPLONA, E. D. O. Teoria das Opções Reais: uma atraente opção no processo de análise de investimentos. **Revista de Administração**, v. 40, n. 3, p. 235–252, 2005.

SARAIVA JÚNIOR, A. F.; TABOSA, C. DE M.; COSTA, R. P. DA. Simulação de Monte Carlo aplicada à análise econômica de pedido. **Produção**, v. 21, n. 1, p. 149–164, 2011.

SBS (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA). **Fatos e Números do Brasil Florestal**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/FatoseNumerosdoBrasilFlorestal.pdf>>.

SCOLFORO, J. R. S.; HOSOKAWA, R. T. Avaliação da rotação econômica para *Pinus caribaea* var. *hondurensis* sujeito a desbastes. **Revista Árvore**, v. 16, n. 1, p. 43–58, 1992.

SFB (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO). **As florestas plantadas**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

SILVA, C. P. D. C. et al. Economic analysis of agroforestry systems with candeia. **Cerne**, v. 18, n. 4, p. 585–594, 2012.

SILVA, C. S. J. et al. Viabilidade econômica e rotação florestal de plantios de candeia (*Eremanthus erythropappus*), em condições de risco. **Cerne**, v. 20, n. 1, p. 113–121, 2014.

SILVA, J. DE C. **Eucalipto: Desfazendo mitos e preconceitos**. Disponível em: <<http://fazendasfloresta.com.br/materia3.asp>>. Acesso em: 31 mar. 2016.

SILVA, W. et al. Índice de consumo e eficiência do uso da água em Eucalipto, submetido a diferentes teores de água em convivência com braquiária. **Revista Floresta**, v. 34, n. 3, p. 325–335, 2004.

SILVA, J. A. A. DA. **Potencialidades de Florestas Energéticas de Rápido Crescimento no Bioma Caatinga**. (L. H. P. Kiill, D. D. Porto, Eds.)Anais do I Simpósio do Bioma Caatinga. Anais...Petrolina, PE: 2016Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/156646/1/SDC277.pdf#page=118>>

SILVA, M. L. DA; FONTES, A. A. Discussão sobre os critérios de avaliação econômica: valor presente líquido (VPL), valor anual equivalente (VAE) e valor esperado da terra (VET). **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 931–936, 2005.

SILVA, M. L. DA; RIBEIRO, C. A. Á. S. Estabelecimento de rotação econômica para uma floresta regulada. **Revista Árvore**, v. 30, n. 1, p. 65–73, 2006.

SIMIONI, F. J.; HOEFLICH, V. A. Avaliação de Risco em Investimentos Florestais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 52, p. 79–92, 2006.

SOUZA, Á. N.; REZENDE, J. L. P.; OLIVEIRA, A. D. Momento ótimo de substituição de povoamentos de *Eucalyptus spp* – o caso da tecnologia constante. **Cerne**, v. 7, n. 2, p. 93–103, 2001.

TEE, J. et al. **A Binomial Tree Approach to Valuing Fixed Rotation Forests and Flexible Rotation Foests Under a Mean Reverting Timber Price Process**. New Zealand Agricultural and Resource Economics Society Conference. **Anais...**2010

TEE, J. et al. Forest Valuation under the New Zealand Emissions Trading Scheme: A Real Options Binomial Tree with Stochastic Carbon and Timber Prices. **Land Economics**, v. 90, n. 1, p. 44–60, 2014.

TRIGEORGIS, L. Opções reais e interações com a flexibilidade financeira. **Revista de Administração de Empresas**, p. 95–120, 2007.

VIRGENS, A. P. DAS; FREITAS, L. C. DE; LEITE, Â. M. P. Análise econômica e de sensibilidade em um povoamento implantado no sudoeste da Bahia. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n. 2, p. 211–219, 2016.

WANNER, R. **Project Risk Management - The Most Important Methods and Tools for Successful Projects**. [s.l.] CreateSpace Independent Publishing Platform, 2013.

WICKHAM, H. **Ggplot2: elegant graphics for data analysis**. New York: [s.n.].

ŽIŽLAVSKÝ, O. Net Present Value Approach: Method for economic assessment of innovation projects. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, n. 156, p. 506–512, 2014.